Dr. WALTER DAUDT

RADIO-TEHNIKA

TREĆI DIO



TEHNIČKA KNJIGA
ZAGREB

Dr Walter Daudt

RADIO-TEHNIKA

III DIO



Naslov originala
FUNKTECHNIK
Teil III

von
Dr. WALTER DAUDT, Berlin

Dr WALTER DAUDT

RADIO-TEHNIKA

III DIO

OSNOVI ELEKTROAKUSTIKE, MJERNE RADIO-TEHNIKE I TEHNIKE OTKLANJANJA SMETNJI

TEHNIČKA KNJIGA
ZAGREB 1971

Štampa: Izdavačko-štamparsko preduzeće »Obod« — Cetinje

PREDGOVOR

Potaknuti uspjehom što ga je imalo prvo izdanje Daudtove »Radio-tehnike«, odlučili smo se na novo izdanje ovoga vrijednog djela. Ova treća knjiga proširena je poglavljima: Slušna akustika, Mikrofoni, Zvučnici, Magnetsko snimanje zvuka, Filmsko snimanje zvuka i Stereofonija, koja je napisao ing. Momir Vujnović, asistent Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, i tako dobila na suvremenosti. Na žalost u vrijeme tiskanja požar je uništio gotovo dovršenu nakladu knjige zajedno sa pripadnim rukopisom i crtežima, pa su se ponovo morale obaviti sve pripreme za tisak i zato ovaj treći dio izlazi s tolikim zakašnjenjem.

Vjerujemo da će i ova knjiga, ovako proširena i dopunjena, naići kod čitalaca, stručnjaka i amatera na isti prijem na koji je naišlo i prvo izdanje, odnosno i ponovljena druga izdanja prvih dvaju dijelova.

Zagreb, rujna 1971.

IZDAVAČ

SADRŽAJ

OSNOVI ELEKTROAKUSTIKE, MJERNE RADIO-TEHNIKE I TEHNIKE OTKLANJANJA SMETNJI

I. Fizikalni osnovi akustike

	Stranica
Nastajanje i širenje zvuka	11
Osnovne mjerne jedinice za zvuk	13
Akustika prostorija	25

II. Snimanje i reprodukcija tonova

Ugljeni mikrofoni	31
Elektrodinamički mikrofoni	36
Elektrostatski mikrofoni	39
Piezoelektrički mikrofoni	47
Postavljanje mikrofona	49
Elektromagnetski zvučnik	52
Elektrodinamički zvučnik	57
Elektrostatski zvučnik	65
Piezoelektrički zvučnik	66
Akustičko planiranje velikih razglasnih uređaja	67
Reguliranje glasnoće kod zvučnika	77
Općenito o tehnici snimanja zvuka na ploče	84
Elektroakustička svojstva gramofonske ploče	86
Električka zvučnica	89
Daljnje pojedinosti o električkim gramofonima	97
Najvažniji spojevi za priključivanje zvučnica	103
Noviji načini snimanja zvuka	110

III. Najvažnije metode mjerne radio-tehnike

Stranica

Općenito o mjernoj radio-tehnici 123
Mjerni visokofrekventni generatori 125
Najvažniji instrumenti za mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih napora i struja 131
Mjerenje otpora za izmjeničnu struju 146
Metoda triju napona 152
Mjerenje na elektronkama 154
Najvažniji frekvenciometri i valomjeri 160
Mjerenja na antenama 164
Mjerenje jakosti električnih polja 167
Mjerenje na radio-prijemnicima 169
Mjerni generatori tonskih frekvencija 173
Mjerenja tonskih frekvencija 178
Mjerenja na niskofrekventnim pojačalima 180
Elektroakustička mjerenja 185
Mjerenja na zvučnicima 192
Katodna elektronka 195
Proizvođenje relaksacionih titraja 204
Spoj i konstrukcija jednog katodnog oscilografa 212
Primjeri za praktičnu primjenu katodnih oscilografa 216

IV. Osnovi tehnike otklanjanja smetnji

Uzroci i širenje radio-smetnji 227
Otklanjanje smetnji kod prijemnih uređaja 231
Otklanjanje smetnji kod električkih strojeva i aparata . . . 234
Traženje izvora smetnji 248
Mjerenje napona smetnji 249
Odgovor na pitanja 253
Rješenja zadataka 261

DODATAK

Slušna akustika

Glasnoća 277
Jedinica za glasnoću son 279
Razumljivost i kvaliteta elektroakustičkog prenosa 281

Stranica

Općenito 281
Karakteristike govornog i muzičkog zvuka 282
Vrste izobličenja u prenosnom sistemu 287
Određivanje položaja izvora zvuka 289
Udaljenost izvora zvuka 289
Smjer izvora zvuka 290

Mikrofoni

Ugljeni mikrofon 292
Kondenzatorski mikrofon 292
Piezoelektrički mikrofon 295

Zvučnici

Općenito 297
Eliptični zvučnik 305
Ugrađenje zvučnika u ozvučene ploče, bas-refleks ormare i zvučne stupove 305
Ozvučne ploče 305
Ozvučne kutije 306
Bas-refleks 307
Zvučni stup 308
Frekventne skretnice 309

Magnetsko snimanje zvuka

Uvod 313
Snimanje uz istosmjerno predmagnetiziranje 314
Brisanje istosmjernim poljem 318
Snimanje s visokofrekventnim predmagnetiziranjem 320
Brisanje izmjeničnim poljem 321
Snimanjem istosmjernog i tonfrekventnog signala 322
Norme za tonske nosače 326
Vrpca 326
Međunarodne norme za vrpce 327
Žaca 328
Ploča, cilindar i folija 329

Filmsko snimanje zvuka

Stranica

Uvod 330
Intenzitetno snimanje 330
Longitudinalni postupak 331
Transverzalno (zupčasto) snimanje 331
Izobličenja 333

Stereofonija

Uvod 334
Jednokanalni prenosni lanac 334
Karakteristike stereofonskog prenosa 336
Stereofonsko snimanje 337
Snimanje s umjetnom glavom 337
AB-stereofonija 339
MS-postupak 341
XY-postupak 344
Stereofonska reprodukcija 345
Dvokanalna pojačala 345
Zvučnici i prostorija 346
Stereofonsko snimanje i reprodukcija magnetskim putem . . . 347
Stereofonija u gramofonskoj tehnici 348
Uvod 348
Metode snimanja stereofonskih ploča 349
Reprodukcija stereofonskih ploča 353
Literatura 357
Abecedno kazalo 359

DIO III

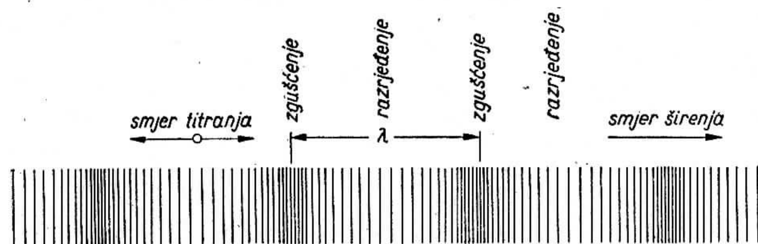
I. Fizikalni osnovi akustike

Nastajanje i širenje zvuka

1. — U dijelu II »Radio-tehnike« govorili smo opširno između ostaloga i o niskofrekventnim pojačalima. No pri tome nismo ništa kazali o uređajima za snimanje i reprodukciju zvuka (mikrofoni, zvučnici, gramofonske doze, urezivači), kao ni o tehnici snimanja i reprodukcije govora i muzike. Kako bismo razumjeli tumačenja koja slijede, moramo najprije upoznati fizikalne osnove *akustike,* dakle nauku o zvuku. Budući da su mikrofoni, zvučnici, gramofonske doze itd. električki prijenosni uređaji, naziva se ovo područje akustike također *elektroakustika.*

2. — Kao što je poznato, *zvuk* nastaje titranjem krutih, tekućih ili plinovitih tijela. Čisti *ton,* koji se sastoji od jednog jedinog sinusoidnog titranja, susreće se razmjerno rijetko. »Tonovi« koje proizvode muzički instrumenti i čovječje grlo, jesu muzički tonovi. Oni su sastavljeni od više sinusoidnih titranja. Ako neko zvučno titranje ima vrlo mnogo pojedinačnih titranja, koja su po frekvenciji bliza, tada čujemo *šum* (na primjer šuštanje lišća, pljeskanje, šum sisača prašine itd.). Iz dijela II, odsjeka 65. već znamo da svaki muzički ton, a također izgovoreni, odnosno pjevani samoglasnik i suglasnik, pored osnovnog tona sadržava još i brojne nadtonove. Broj i jakost nadtonova uvjetuju boju tona. Naročito izrazita područja nadtonova nazivaju se *područja formanata;* tako na primjer samoglasnik *a* ima tri formantna područja, i to na frekvenciji oko 650 Hz, 1 150 Hz i 2 800 Hz. Ponovno napominjemo da je ukupni opseg frekvencija u muzici (uključivši nadtonove) od nekih 27 Hz do 16 000 Hz, a u govoru od kojih 80 Hz do 10 000 Hz. Zato visokokvalitetni uređaj za prijenos muzike mora imati opseg frekvencija barem od 40 Hz do 10 000 Hz.

3. — Ako se u prostoru nalazi bilo kakav izvor zvuka (na primjer žica, glazbena viljuška, zvučnik), tada se titrajno gibanje ovog izvora prenosi najprije na najbliže, a od ovih na susjedne molekule uzduha. Tako se titrajno gibanje u prostoru sve više **š i r i**. Pojedine molekule uzduha pri tome titraju oko svog položaja mirovanja i to u **s m j e r u š i r e n j a** zvučnih valova. Ovaj proces odgovara zgušćivanju i razređivanju uzduha (sl. 1). Takvi se valovi nazivaju *longitudinalni valovi.* Ovima su suprotni *transverzalni valovi,* kod kojih pojedine čestice titraju **o k o m i t o n a s m j e r š i r e n j a** (na primjer kod valova na vodi, svjetlosnih i radiovalova). Na sl. 1. prikazan je **r a v n i** val. Zvučni valovi se oko nekog izvora zvuka šire kao **k u g l a s t i** valovi. Na većoj udaljenosti od izvora zvuka može se mali isječak kuglastog vala smatrati dovoljno ravnim. Raspodjela tlaka kod ravnog zvučnog vala prikazana je na slici šrafiranjem različite gustoće. Usko šrafiranje



Sl. 1

naznačuje zgušćenje (pretlak), a široko šrafiranje razrjeđenje uzduha (potlak). Ako se u bilo kojoj tački zvučnog polja nalazi uho ili mikrofon, tada do njega dolazi izmjenično zgušćenje i razrjeđenje uzduha. Na sl. 1. naznačena je također valna dužina λ, koja je jednaka udaljenosti od sredine jednog zgušćenja, odnosno razrjeđenja, do sredine slijedećeg zgušćenja, odnosno razrjeđenja uzduha.

4. — Zvučni valovi se u uzduhu na 16^0 C šire brzinom oko 340 m/s. Na 0^0 C brzina zvuka iznosi samo 330,7 m/s. Označimo li sa t temperaturu u [^{0} C], tada za brzinu zvuka u uzduhu vrijedi općenita jednadžba:

$$c = 330{,}7\ \sqrt{1 + 0{,}00367\ t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Ovom brzinom ne giblju se same čestice uzduha nego zgušćenja i razrjeđenja. Drugim riječima: brzinom zvuka ne širi se materija (uzduh) nego **s t a n j e**! U tekućinama je brzina zvuka znatno veća nego u uzduhu. U čistoj vodi brzina zvuka je oko 1 450 m/s (podvodni zvučni uređaji!) Zvuk se najbrže širi u krutim tijelima; kao primjer navodimo nekoliko brzina zvuka: srebro ... ≈ 2 600 m/s, hrastovina ... ≈ 4 450 m/s, željezo ... ≈ 5 000 m/s, norveška bukva ... ≈ 5 100 m/s. Kako između brzine zvuka u uzduhu i brzine u drvetu, odnosno metalima,

postoji znatna razlika, područja formanata pojedinih muzičkih instrumenata jako utječu na jakost nadtonova. Tako na primjer srebrni klarinet zvuči sasvim drugačije nego drveni, jer se područja formanata kod srebra i drveta jako razlikuju.

Ponavljanje

Z v u k nastaje titranjem krutih, tekućih ili plinovitih tijela. Čisti **t o n** se sastoji samo od jednog jedinog titranja, dok je ton što ga proizvodi muzički instrument ili čovječje grlo, sastavljen od više sinusoidnih titranja. Vrlo mnogo pojedinačnih titranja, koja su po frekvenciji bliza, čine **š u m**. Svaki **m u z i č k i** ton ima stanovitu boju. Boja tona ovisi o jakosti i broju **n a d t o n o v a**, odnosno o broju **p o d r u č j a f o r m a n a t a**. Zvučni titraji šire se u uzduhu kao zgušćenja i razrjeđenja uzduha. Ovdje se radi o **l o n g i t u d i n a l n i m** valovima, jer molekule uzduha, protivno transverzalnim valovima, titraju u smjeru širenja zvučnih valova. **B r z i n a z v u k a** u uzduhu iznosi na 16^0 C oko 340 m/s. Na višim temperaturama brzina zvuka je veća. U tekućinama se zvučni valovi šire brže nego u uzduhu. Najveću brzinu zvuk ima u krutim tijelima (na primjer u željezu oko 5 000 m/s).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje područje obrađuje elektroakustika? *Odgovor:* Snimanje i reprodukciju zvuka pomoću električkih uređaja. — *P.:* Nabroji najvažnije električke uređaje za prijenos zvuka! *O.:* Niskofrekventna pojačala, mikrofoni, zvučnici, gramofonske doze ili zvučnice i pisači zvuka. — *P.:* Kakva je razlika između čistog tona i muzičkog tona? *O.:* Čisti ton sastoji se samo od jednog sinusoidnog titranja, dok se muzički ton sastoji od više sinusoidnih titranja. — *P.:* Što je šum? *O.:* Smjesa od vrlo mnogo po frekvenciji bliskih pojedinačnih titranja. — *P.:* Što određuje boju tona? *O.:* Broj i jakost nadtonova odnosno formantnih područja. — *P.:* Koji najmanji opseg frekvencija mora prenositi dobar uređaj za prijenos muzike? *O.:* Od 40 Hz do 10 kHz. — *P.:* Kako se zvuk širi u uzduhu? *O.:* U obliku zgušćenja i razrjeđenja uzduha, dakle u obliku longitudinalnih valova. — *P.:* Po čemu se razlikuje longitudinalni val od transverzalnog vala? *O.:* Kod longitudinalnog vala pojedine čestice titraju u smjeru širenja vala, a kod transverzalnog vala okomito na smjer širenja. — *P.:* Kojom brzinom se zvuk širi u uzduhu? *O.:* Brzinom od 340 m/s (na 16^0 C). — *P.:* Kolika je brzina zvuka na nižim temperaturama? *O.:* Manja od 340 m/s. — *P.:* Što se može reći o brzini zvuka u tekućim i krutim tijelima? *O.:* U tekućim tijelima šire se zvučni valovi brže nego u uzduhu. U krutim tijelima brzina zvuka je znatno veća nego u tekućim i plinovitim tijelima.

Osnovne mjerne jedinice za zvuk

5. — Svako sinusoidno titranje, neovisno o tome da li se radi o longitudinalnom ili transverzalnom valu, karakterizirano je *frekvencijom f, valnom dužinom λ i brzinom širenja c.* Prema dijelu I, odsjek 141, stoje ovi pojmovi, koji su nam već otprije poznati, u slijedećem odnosu:

$$f \cdot \lambda = c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Na konferenciji, koja je g. 1 885. održana u Beču, kao polazna tačka za muzičko ugađanje uzet je *normalni ton a'* s frekvencijom *435* Hz. Na žalost mnoge zemlje nisu se držale ovog zaključka, već su upotrebljavale kao ton za ugađanje većinom viši ton. Ova je činjenica vrlo neugodno djelovala prigodom muzičkih izvedaba, na gradnju muzičkih instrumenata i na pjevače. Zato je na konferenciji u Londonu g. 1 939. zaključeno da se kao osnovni ton uzme ton s frekvencijom *440* Hz. Ovim se je izbjeglo da se na muzičkim instrumentima orkestra u nekoj drugoj zemlji moglo svirati samo s poteškoćama, jer je muzičko ugađanje te zemlje drugačije, ili da je pjevač bio prisiljen da pjeva u sasvim drugoj postavi glasa.

6. — *Čujno područje čovječjeg uha* obuhvaća frekvencije od nekih 16 Hz, pa do 20 000 Hz. Tonske frekvencije niže od 16 Hz, koje se zovu također *infrazvuk,* uho ne može više osjetiti kao ton, nego samo još kao trešnju (na primjer drhtanje). S druge strane titraje, koji imaju frekvenciju višu od 20 000 Hz, bubnjić ne može više slijediti; takve titraje zovemo *ultrazvuk.* Ultrakratki titraji zvuka mogu se proizvesti na primjer pomoću kvarca na piezoelektričkom principu (vidi dio II, odsjek 372). Pri tome se iskorištavaju izmjenična električna polja koja su u rezonanciji s vlastitom frekvencijom kvarca. Na ovaj način uspjelo je proizvesti ultrazvučne titraje s frekvencijom od nekoliko stotina megaherca. No ove zvučne titraje ne smijemo zamijeniti s električkim titrajima. Najvažniji primjeri primjene ultrazvučnih titraja jesu slijedeći: mjerenje morskih dubina, istraživanje materijala, priređivanje emulzija, fino usitnjavanje rastopljenih materija (finozrnati filmovi), izlučivanje dima i čađe, biološka djelovanja itd.

7. — Organ za primanje zvuka (uho, mikrofon) uslijed zgušćavanja i razrjeđivanja uzduha prima stanoviti *zvučni tlak p,* koji se mjeri u mikrobarima [μb]. Sjetimo se da je 1 μb = 10^{-6} b = 1 din/cm^2 = 1,02 mg/cm^2 ili 1 b = 10^6 μb = 10^6 din/cm^2 = 1,02 kg/cm^2, gdje je 1 din = = 1,02 mg apsolutna (fizikalna) jedinica za silu. Amplituda kod zvučnog titranja uzduha ovisi o *akustičkoj impedanciji z* materije u kojoj se zvučni val širi. Ako se sa ϱ označi gustoća dotične materije u [g/cm^3] = = [din · s^2/cm^4], a sa *c* brzina zvuka u [cm/s], tada vrijedi jednadžba:

$$\boxed{z = \varrho \cdot c} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Odavle vidimo da se akustička impedancija mjeri u [(din · s^2/cm^4) · · cm/s] = [din · s/cm^3]. Za u z d u h na 20^0 C i uz normalan tlak (1 013 mb) ϱ = 0,00121 din · s^2/cm^4, a *c* = 34 300 cm/s, dakle z = 0,00121 · · 34300 = 41,5 din · s/cm^3. Za v o d i k je (također na 20^0 C i 1 013 mb) z = 10,9 din · s/cm^3, a za v o d u (kod 10^0 C) z = 144 000 din · s/cm^3.

8. — Pod *amplitudom brzine čestice koja titra* razumijevamo produkt a m p l i t u d e kod zvučnog titranja *»a«* i k r u ž n e f r e k v e n c i j e ω. *Efektivna brzina čestice* ili titrajna brzina $v = a\omega/\sqrt{2}$ prema tome mjeri se u cm/s, to jest u istim jedinicama kao i brzina

zvuka *c,* samo se ne smije s njom zamijeniti. O pojmu titrajne brzine pobliže ćemo govoriti, kad dođemo do elektromagnetske zvučnice. Između veličina *p, v* i *z* postoji odnos (u izvod nećemo ulaziti):

$$\boxed{p = v \cdot z} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Riječima: *zvučni tlak = titrajna brzina zvuka × akustička impedancija.* Ovaj se zakon također zove *Ohmov zakon akustike.* Oblik i sadržaj jedn. (4) podsjeća na Ohmov zakon u e l e k t r o t e h n i c i, gdje zvučnom tlaku *p* odgovara električki napon, titrajnoj brzini *v* jakost električke struje, a akustičkoj impedanciji *z* električki otpor! Posebno napominjemo da za akustičko ponašanje neke materije akustička impedancija ima slično značenje, koje ima električki otpor za električko ponašanje vodiča. Prema električkom zakonu: snaga = napon × jakost struje dobivamo akustički zakon: *specifična zvučna snaga = jakost zvuka =* = z v u č n i t l a k × t i t r a j n a b r z i n a, dakle $N = p \cdot v$. Kako je prema jedn. (4) $v = p/z$, to se dobiva: $N = p \cdot p/z = p^2/z$. Jedinica za jakost zvuka je [(din/cm^2) · (cm/s)] = [erg/(cm^2 · s)] = 10^{-7} [W/cm^2], jer su apsolutne jedinice za rad 1 erg = 1 din · 1 cm i 10^7 erg/s = 1 W (vat). Tako dobivamo jednadžbu:

$$\boxed{N = \frac{p^2}{z} \cdot 10^{-7} \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{cm}^2}\right]} \quad . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Pod *jakošću zvuka* (intenzitetom zvuka) razumijevamo količinu energije koja u j e d i n i c i v r e m e n a prođe kroz j e d i n i č n u p l o h u okomitu na smjer širenja zvučnog vala. Kako svaka energija predstavlja r a d, to se jakost zvuka mjeri u [erg/(cm^2 · s)].

Ponavljanje

Između frekvencije *f*, valne dužine λ i brzine širenja *c* nekog sinusoidnog vala postoji odnos: $f \cdot \lambda = c$. Kao osnova muzičkog ugađanja služi n o r m a l n i t o n a' = 435 Hz. U novije vrijeme je iz praktičkih razloga kao frekvencija normalnog tona utvrđena frekvencija 440 Hz. Zvučni titraji s frekvencijom ispod najniže čujne frekvencije, od kojih 16 Hz zovu se i n f r a z v u k, a zvučni titraji iznad najviše čujne frekvencije od kojih 20 000 Hz zovu se u l t r a z v u k. U tehnici se ultrazvučni titraji sve više upotrebljavaju. Da se fizikalno odredi zvučno polje služi z v u č n i t l a k *p*, a k u s t i č k a i m p e d a n c i j a *z* i b r z i n a z v u k a *c*. Ako je ϱ gustoća materije u kojoj se zvuk širi, tada vrijedi: $z = \varrho \cdot c$. Z v u č n i t l a k *p*, t i t r a j n a b r z i n a *v* i akustička impedancija *z* vezani su Ohmovim zakonom akustike, naime $p = v \cdot z$. Pod j a k o š ć u z v u k a *N* razumijevamo produkt: zvučni tlak × titrajna brzina zvuka. Za proračunavanje najviše se upotrebljava jednadžba: $N = (p^2/z) \cdot 10^{-7}$ [W/cm^2]. J a k o s t z v u k a je ona energija, koju zvučni val u jedinici vremena prenese kroz jedinicu površine okomitu na smjer širenja vala.

Pitanja i odgovori

Pitanje: U kakvom odnosu stoji frekvencija f, valna dužina λ i brzina širenja c nekog sinusoidnog vala? *Odgovor:* Vrijedi jednadžba: $f \cdot \lambda = c$. — *P.:* Koji ton je polazna tačka za muzičko ugađanje? *O.:* Osnovni ton, koji ima frekvenciju 435 Hz; u novije vrijeme frekvencija osnovnog tona je 440 Hz. — *P.:* Što su infrazvučni valovi, odnosno ultrazvučni valovi? *O.:* Zvučni valovi, kojima je frekvencija ispod najniže čujne frekvencije od kojih 16 Hz, odnosno iznad najviše čujne frekvencije od kojih 20 000 Hz. — *P.:* U kojim jedinicama se mjeri zvučni tlak? *O.:* U mikrobarima [μb]. — *P.:* Što je 1 μb? *O.:* Apsolutna jedinica za tlak = 1 din/cm² = 1,02 mg/cm². — *P.:* U kojim jedinicama se mjeri akustička impedancija? *O.:* U [din · s/cm³]. — *P.:* Kakva je razlika između titrajne brzine zvuka i brzine zvuka? *O.:* Titrajna brzina zvuka je efektivna brzina čestica uzduha, a brzina zvuka je brzina zvučnih valova. — *P.:* Kako se izračunava titrajna brzina zvuka? *O.:* Amplituda zvučnog titranja × kružna frekvencija / $\sqrt{2}$. — *P.:* Kako se može izračunati akustička impedancija? *O.:* Iz jednadžbe: $z = \varrho\, c$, gdje je ϱ gustoća dotične materije. — *P.:* Kako glasi Ohmov zakon akustike? *O.:* Zvučni tlak = titrajna brzina zvuka × akustička impedancija $(p = v \cdot z)$. — *P.:* Kako glasi jednadžba za jakost zvuka? *O.:* Jakost zvuka = zvučni tlak × titrajna brzina $(N = p \cdot v)$. — *P.:* Koja je jednadžba praktična za izračunavanje jakosti zvuka? *O.:* Jednadžba: $N = (p^2/z) \cdot 10^{-7}$ [W/cm²]. — *P.:* Što upada u oči kod jedinice za jakost zvuka? *O.:* Da se broj vata [W] odnosi na jedinicu površine [cm²]. — *P.:* Kako se tumači pojam jakosti zvuka? *O.:* Jakost zvuka je količina energije koju zvučni val u jedinici vremena prenosi kroz jediničnu površinu okomitu na smjer širenja.

Pitanja

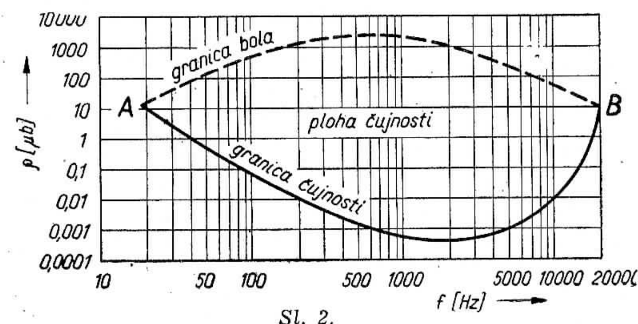
1. Kakva je razlika između valova zvuka i radio-valova?
2. Koliko je čujno područje čovječjeg uha?
3. Koje veličine određuju zvučno polje?

Zadaci

1. Kojom se brzinom zvuk širi u uzduhu na —20° C?
2. Koju valnu dužinu u uzduhu ima: a) infrazvučni titraj od 10 Hz i b) ultrazvučni titraj od 100 MHz na 16° C?
3. Neki zvučnik koji je ugođen na sobnu jakost glasa, u udaljenosti od 5 m proizvodi srednji zvučni tlak od 0,03 μb. Kolika je: a) jakost zvuka i b) titrajna brzina na 20° C?

9. — U dosadašnjim izlaganjima pozabavili smo se samo f i z i k a l n i m veličinama zvučnog polja. No slušni osjet osniva se na f i z i o l o š k o m djelovanju, naime na podraživanju slušnih živaca. Prema tome je potrebno istražiti kako slušni, subjektivni *osjet jakosti glasa*, ovisi o stvarnoj, fizikalnoj jakosti zvuka, odnosno zvučnom tlaku. Pri tome će se utvrditi, da jednolike promjene jakosti zvuka, odnosno zvučnog tlaka, kao i jednolike promjene frekvencije, čovječje uho ne osjeća kao jednolike. Pokazuje se naime da je za svaki čisti ton potreban neki minimalni zvučni tlak, takozvana *granica čujnosti*, kako bi ga uho uopće moglo čuti. S druge strane ima uho također *granicu bola*, kod koje je

zvučni tlak tako velik, da uho osjeća tonove samo još kao bol. Granica čujnosti i granica bola jako su ovisne o frekvenciji, to jest na različitim tonskim frekvencijama, različito su velike. Iscrpnim mjerenjima dobivene su *krivulje osjetljivosti čovječjeg* uha prikazane na sl. 2. gdje se vidi ovisnost granice čujnosti i bola o frekvenciji. Ove krivulje daju samo prosječne vrijednosti, jer donja odnosno gornja granica čujnosti kod različitih ljudi nisu jednake. Iz slike vidimo da je osjetljivost uha najveća na frekvenciji od nekih 1 000 pa do 3 000 Hz. Kod ovih tonova potreban je vrlo malen zvučni tlak (manji od 10^{-3} μb) da dođe do slušnog osjeta. Naprotiv na vrlo niskim i na vrlo visokim frekvencijama potreban je znatno veći zvučni tlak, da ga uho osjeti. Ova činjenica ima veliko značenje kod gradnje niskofrekventnih pojačala, jer pojačala i zvučnici slabije kvalitete dobro reproduciraju, odnosno izdižu up-



Sl. 2.

ravo područje srednjih tonskih frekvencija. Da se ovo izbjegne mora se posebnim mjerama (korektor; vidi dio II, odsjek 137) izdignuti područje basova i visokih tonova.

10. — Nadalje se iz sl. 2. vidi da granica bola nije tako jako ovisna o frekvenciji kao granica čujnosti. Osim toga ova ovisnost je protivnog smisla. Granica bola proteže se samo preko dvije dekadske jedinice, a granica čujnosti preko pet dekadskih jedinica. Najviša vrijednost granice bola nalazi se na nižim frekvencijama (800 do 1 000 Hz). U tačkama A i B, koje odgovaraju frekvencijama oko 18 Hz i 20 000 Hz, krivulje granice čujnosti i granice bola se sastaju. U ovim tačkama zvučni tlak je skoro jednako velik (oko 10 μb). Najveći odnos zvučnog tlaka između obiju granica, kako se vidi iz sl. 2, iznosi 1 : 10^7; prema jedn. (5) ovo odgovara odnosu zvučnih snaga 1 : 10^{14}. Za proizvođenje slušnog osjeta u području najveće osjetljivosti uha čestice uzduha moraju vršiti gibanje od 0,25 · 10^{-9} cm, dakle otprilike 1/1?? promjera molekule. Iz ovih brojeva se može ocijeniti začudno velika osjetljivost našega uha u području najniže granice čujnosti.

11. — Kao mjera za fiziološko djelovanje izvora zvuka na uho, dakle kao mjera za subjektivni osjet jakosti glasa, služi glasnoća L. Prema odsjeku 9. glasnoća ovisi o veličini specifične zvučne snage (o jako-

sti zvuka; vidi odsjek 8), odnosno o zvučnom tlaku, i s ovim se ne smije zamijeniti! G l a s n o ć a je uvijek f i z i o l o š k i (naime slušni), a j a k o s t z v u k a f i z i k a l n i pojam. Kako su pokazala iscrpna mjerenja, osjeća uho kod s r e d n j e frekvencije oko 1 000 Hz samo onda jednaku razliku u glasnoći, ako je *odnos* (ne razlika!) zvučnih snaga (jakost zvuka), koje se poređuju, isti. Ako se na primjer zvučna snaga nekog izvora zvuka povisi sa 1 na 10, tada uho osjeća istu razliku jakosti glasa kao kad bi se zvučna snaga nekog drugog izvora povisila na primjer od 1 000 na 10 000. Ovdje je naime odnos isti: 10/1 = = 10 000/1 000 = 10, dok je aritmetska r a z l i k a obiju zvučnih snaga 10 — 1 = 9, odnosno 10 000 — 1 000 = 9 000. No ovdje je zato razlika *logaritama* obiju zvučnih snaga ista, naime lg (10/1) = lg 10 — lg 1 = = 1 — 0 = 1, odnosno lg (10 000/1 000) = lg 10 000 — lg 1 000 = 4—3 = = 1! Osjet glasnoće je dakle to veći, što je veći logaritam odnosa zvučnih snaga, odnosno zvučnih tlakova. Iz ovoga slijedi da uho ima *logaritmičku osjetljivost*. Ovu činjenicu izražava *Weber-Fechnerov zakon: »Glasnoća je razmjerna logaritmu zvučne snage, odnosno zvučnog tlaka«.* Treba naročito naglasiti, da ovaj zakon vrijedi samo za frekvencije oko 1 000 Hz, jer je osjet glasnoće (slušni utisak) vrlo jako ovisan o frekvenciji. Kod drugih frekvencija dolazi do znatnih odstupanja od Weber-Fechnerovog zakona (vidi odsjek 15).

12. — Glasnoća, koju osjeća uho, ne može se mjeriti direktno, nego samo indirektno i to uspoređivanjem s izvorom zvuka, kojemu je snagu moguće mjeriti. Kao takozvani *normalni zvuk* uzima se prema Barkhausenu ravni sinusoidni zvučni val frekvencije 1 000 Hz, koji slušaču dolazi do glave tačno sprijeda, a da ovaj jedno uho ima zatvoreno. Ako sa N_1 i N_2 označimo zvučne snage, odnosno sa p_1 i p_2 zvučne tlakove dvaju stupnjeva normalnoga zvuka, tada se pripadne jakosti glasa razlikuju za:

$$L = 10 \lg \frac{N_2}{N_1} = 20 \lg \frac{p_2}{p_1} \text{ [fona]} \quad \ldots \quad (6)$$

Prema ovoj proizvoljnoj definiciji 1 fon je jedinica za promjenu glasnoće. Faktor 10 je uzet zato da se izbjegnu decimalna mjesta u podacima za glasnoću.[1]) Osim toga je najmanja razlika u glasnoći, koja se uhom još može zamijetiti, u veličini od 1 fona, tako da su razlike u glasnoći koje su manje od 1 fona, to jest imaju decimalna mjesta uz broj fona, praktički bez značenja. Jedan fon na frekvenciji 1 000 Hz odgovara promjeni zvučnog tlaka za 12%, jer je $1 = 20 \lg (p_2/p_1)$, dakle $\lg (p_2/p_1) = 0{,}05$, to jest $p_2/p_1 = 1{,}12$; zvučni tlak je dakle postao veći ili manji samo za 12%. Sve glasnoće koje u praksi dolaze, od najtišeg šuma pa do buke koja izaziva bol, nalaze se u području od 0 do 130 fona (vidi odsjek 14). Dva tona iste frekvencije subjektivno se čuju jednako glasno, ako imaju isti broj fona. Imaju li dva tona frekvenciju 1 000 Hz, i ako im se zvučni tlakovi odnose kao 2 : 1, tada je razlika u glasnoći $L = 20 \lg (p_2/p_1) = 20 \lg 2 = 6$ fona.

13. — Fon se ne upotrebljava samo kao logaritmički faktor proporcionalnosti, kao što smo to dosada činili, nego i kao apsolutna mjera za glasnoću. Na Internacionalnoj akustičkoj konferenciji u Parizu g. 1937. *nulti nivo* za fonsku skalu definiran je tako, da efektivnom zvučnom tlaku od 2 μb = 2 din/cm² na frekvenciji 1 000 Hz (normalni zvuk) odgovara glasnoća od 80 fona. Za glasnoću od 0 fona, što se približno podudara s granicom čujnosti normalnog zvuka, dobiva se kao *granična vrijednost za zvučni tlak* $p_0 = 0{,}0002$ μb; prema jedn. (6), je naime: $L = 20 \lg (p_1/p_0)$, dakle $80 = 20 \lg (2/p_0)$, odavle $\lg (2/p_0) = 4 = 0{,}30 - \lg p_0$, to jest $\lg p_0 = 0{,}30 - 4$ ili $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ μb. Primjenom jedn. (5) i (6) dobivamo za *graničnu vrijednost jakosti zvuka* N_0: $80 = 10 \lg N_1/N_0 = 10 [\lg (p_1^2/z) \cdot 10^{-7} - \lg N_0] = 10 [\lg (4/41{,}5 \cdot 10^{-7} - \lg N_0] \approx 10 (\lg 10^{-8} - \lg N_0)$, dakle $\lg N_0 = \lg 10^{-8} - 8 = -8 - 8 = -16$, to jest: $N_0 = 10^{-16}$ W/cm². Za glasnoću od *80 fona* dobiva se prema tome jakost zvuka $\lg N_1 = 8 + \lg N_0 = 8 - 16 = -8$ ili $N_1 = 10^{-8}$ W/cm². Da se izbjegnu nesporazumi napominjemo, da je prije g. 1937. vrijedila druga definicija za nulti nivo fonske skale i to: 70 fona = 1 μb = 1 din/cm², $p_0 = 0{,}000316$ μb i $N_0 = 2{,}6 \cdot 10^{-16}$ W/cm². Ovaj nulti nivo, koji danas više ne vrijedi, upotrijebljen je u starijim publikacijama.

Ponavljanje

Slušni o s j e t g l a s n o ć e osniva se na fiziološkom djelovanju, naime na podraživanju slušnih živaca. Da se neki ton može uhom osjetiti, mora imati stanoviti najmanji zvučni tlak, takozvanu g r a n i c u č u j n o s t i. Ako je zvučni tlak viši od g r a n i c e b o l a, tada se dotični ton osjeća još samo kao bol. Granica čujnosti i bola jako je ovisna o frekvenciji. Čovječje uho je najosjetljivije za frekvencije između 1 000 i 3 000 Hz. Najveći odnos zvučnog tlaka između granice čujnosti i granice bola iznosi oko 1 : 10⁷, najveći odnos jakosti zvuka dakle oko 1 : 10¹⁴. Mjera subjektivnog osjeta jakosti glasa je glasnoća koja se ne smije zamijeniti s fizikalnom jakošću zvuka (zvučnom snagom). Prema W e b e r - F e c h n e r o v o m z a k o n u čovječje uho ima l o g a r i t m i č k u osjetljivost, to jest glasnoća je razmjerna logaritmu jakosti zvuka, odnosno zvučnog tlaka. Ovaj zakon vrijedi samo za frekvenciju oko 1 000 Hz. Jedinica za promjenu glasnoće je 1 f o n. Ako su N_1 i N_2 jakosti zvuka, a p_1 i p_2 zvučni tlakovi dvaju stupnjeva normalnoga zvuka (ravni sinusoidni zvučni val od 1 000 Hz), tada razlika glasnoće iznosi: $L = 10 \lg \frac{N_2}{N_1} = 20 \lg \frac{p_2}{p_1}$ [fona]. Najmanja razlika u glasnoći koja se još može čuti, iznosi oko 1 fon. Sve razlike u glasnoći, koje dolaze u praksi, nalaze se između 0 i 130 fona. No fon se može upotrijebiti i kao a p s o l u t n a mjera za glasnoću. Za n u l t i n i v o vrijedi slijedeća definicija: 80 fona na frekvenciji 1 000 Hz odgovara zvučnom tlaku od

[1]) Faktor 20 dolazi odatle, što su zvučne snage prema jedn. (5) razmjerne k v a d r a t u zvučnih tlakova. Prema tome je uz istu akustičku impedanciju:

$$10 \lg \frac{N_2}{N_1} = 10 \lg \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 = 20 \lg \frac{p_2}{p_1}$$

2 μb; tako se dobiva kao granična vrijednost za zvučni tlak 0,0002 μb, a kao granična vrijednost za jakost zvuka 10^{-16} W/cm².

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakva je razlika između glasnoće i jakosti zvuka? *Odgovor:* Glasnoća je mjera za slušni osjet jakosti glasa, dakle fiziološki pojam, dok je jakost zvuka (zvučna snaga), fizikalna veličina, kojom se određuje zvučno polje. — *P.:* Koje su granice našeg osjeta glasnoće? *O.:* Granica čujnosti i granica bola. — *P.:* Ima li čovječje uho kod svih čujnih frekvencija jednaku osjetljivost? *O.:* Ne; za frekvencije između 1 000 i 3 000 Hz osjetljivost uha je najveća. — *P.:* Što nam kaže Weber-Fechnerov zakon? *O.:* Glasnoća je kod frekvencija 1 000 Hz razmjerna logaritmu zvučne snage, odnosno zvučnog tlaka. — *P.:* Kako se mjere razlike u glasnoći? *O.:* Uspoređivanjem s normalnim zvukom. — *P.:* Kako je definiran normalni zvuk? *O.:* Kao ravni uzdušni sinusoidni zvučni val frekvencije 1 000 Hz, koji na glavu slušača dolazi sprijeda, a da slušač jedno uho ima zatvoreno. — *P.:* Kako glasi jednadžba za izračunavanje razlika u glasnoći? *O.:* $L = 10 \lg (N_2/N_1) = 20 \lg (p_2/p_1)$ [fona]. — *P.:* Kolika je promjena zvučnog tlaka koja odgovara 1 fonu? *O.:* To je promjena zvučnog tlaka od 12% kod frekvencije 1 000 Hz. — *P.:* Može li se fon upotrijebiti i kao apsolutna mjera za glasnoću? *O.:* Može, no tada se mora odabrati nulti nivo. — *P.:* Kako je definiran ovaj nulti nivo? *O.:* Kod frekvencije 1 000 Hz zvučnom tlaku od 2 μb odgovara 80 fona. — *P.:* Kolike su tada granične vrijednosti za zvučni tlak i zvučnu snagu? *O.:* Granična vrijednost za zvučni tlak je 0,0002 μb, a za zvučnu snagu 10^{-16} W/cm².

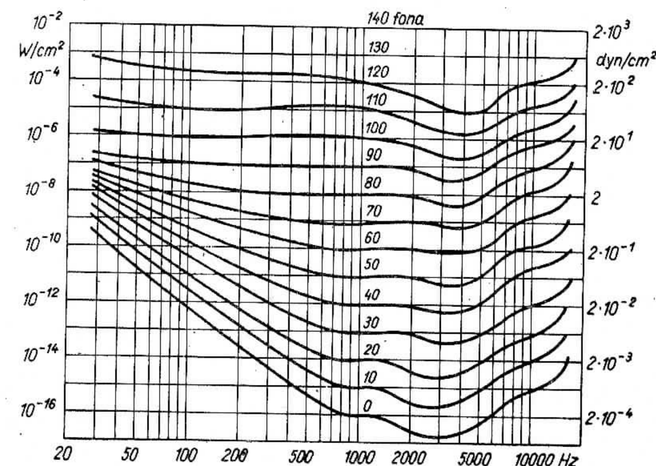
14. — Praktičko značenje fonske skale vidi se iz slijedeće tablice, u kojoj je osjet glasnoće prikazan u stupnjevima otprilike po 10 fona:

Najvažniji stupnjevi

Izvor zvuka	L [fon]	p [μb]	N $\left[\frac{W}{cm^2}\right]$
Granica čujnosti	0	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-16}
Tiho šaputanje i šuštanje lišća	10	$6{,}3 \cdot 10^{-4}$	10^{-15}
Tihi stan	20	$2 \cdot 10^{-3}$	10^{-14}
Tik-tak budilice, šaptanje	30	$6{,}3 \cdot 10^{-3}$	10^{-13}
Razgovor, sobni zvučnik	40	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-12}
Glasan govor, poslovne prostorije	50	$6{,}3 \cdot 10^{-2}$	10^{-11}
Glasna muzika preko zvučnika	60	$2 \cdot 10^{-1}$	10^{-10}
Prometna ulica	70	$6{,}3 \cdot 10^{-1}$	10^{-9}
Vrlo glasna muzika preko zvučnika	80	2	10^{-8}
Strojarnica, glasna auto-truba	90	6,3	10^{-7}
Sirena, zakivni čekić	100	$2 \cdot 10^{1}$	10^{-6}
Avion	110	$6{,}3 \cdot 10^{1}$	10^{-5}
Top, kotlarnica	120	$2 \cdot 10^{2}$	10^{-4}
Granica bola	130	$6{,}3 \cdot 10^{2}$	10^{-3}

Sve ove vrijednosti su apsolutne vrijednosti. One su izračunate iz granične vrijednosti p_0, odnosno N_0, po slijedećim jednadžbama (vidi jedn. (6), odsjek 12): $\lg p_1 = L/20 + \lg p_0 = L/20 - 3{,}7$ i $\lg N_1 = L/10 + \lg N_0 = L/10 - 16$. Iz tablice se vidi da povišenju glasnoće za 20 fona odgovara 10-struko povišenje zvučnog tlaka i 100-struko povišenje zvučne snage (kod 1 000 Hz). Naročito je zanimljivo, kako su vanredno malene snage koje proizvode zvuk. Za najmanji osjet glasnoće (granica čujnosti) potrebno je samo 10^{-16} W/cm², a za granicu bola 10^{-3} W/cm². Ako bi na primjer 4,5 miliona ljudi govorilo istodobno, ukupna zvučna snaga bila bi samo oko 45 W. To je električka snaga koju troši na primjer stolna svjetiljka! Ako bi netko glasno govorio pet dana bez prekida, proizveo bi zvučnu energiju koja odgovara količini topline od 1 kalorije.

15. — U odsjeku II već smo ukratko spomenuli da osjet glasnoće nije kod različitih frekvencija jednak, te da isti zvučni tlak, odnosno ista jakost zvuka, ne proizvodi u uhu jednaku glasnoću. Na sl. 3. vidimo *krivulje jednake glasnoće,* koje su snimljene posve empirički i mogu se



Sl. 3.

smatrati kao prosječne vrijednosti. Kod frekvencije 1 000 Hz i za promjenu zvučnog tlaka na 10-struku vrijednost, odnosno za promjenu jakosti zvuka na 100-struku vrijednost, glasnoća se uvijek promijeni za 20 fona (vidi odsjek 14). No ako na primjer dva tona frekvencije 1 000 Hz i 100 Hz moraju da u uhu izazovu jednak osjet glasnoće, potreban je za ton 100 Hz kod 80 fona oko 1,6-struki, kod 60 fona oko 4-struki, kod 40 fona oko 15-struki, a kod 20 fona oko 38-struki zvučni tlak u odnosu prema tonu frekvencije 1 000 Hz. Iz ovoga se jasno vidi u kolikoj su mjeri zapostavljeni duboki tonovi, ako se neka muzička izvedba sa srednjom glasnoćom od 80 fona reproducira s manjom glasnoćom (na primjer 60 ili 40 fona). Budući da se krivulje na sl. 3. prema niskim frekvencijama dižu, potreban je za istu glasnoću kod niskih fre-

kvencija mnogo veći zvučni tlak nego u području srednjih frekvencija. Ovo vrijedi prije svega za malene glasnoće, na primjer za reprodukciju preko zvučnika u stambenim prostorijama. Ako je potrebno da se glasnoća regulatorom smanji, tada treba s obzirom na vjernu reprodukciju izdignuti n i s k e frekvencije — drugačije rečeno — moraju se oslabiti srednje i visoke frekvencije. Na koji se način može takvo r e g u l i r a n j e g l a s n o ć e postići s obzirom na sluh, vidjeli smo u dijelu II, odsjek 261. Na koncu vidimo iz krivulja na sl. 3. da su glasnoće kod velikih zvučnih tlakova, odnosno zvučnih snaga, mnogo manje ovisne o frekvenciji. Iznad 80 fona krivulje su mnogo ravnije nego kod manjih zvučnih tlakova. Veliki zvučni tlakovi izjednačuju ovisnost glasnoće o frekvenciji. Nepravilnosti koje kod krivulja vidimo u području frekvencija između 2 000 i 6 000 Hz vjerojatno nastaju zbog savijanja zvučnih valova oko glave slušača. Naime kod mjerenja zvučnog tlaka u slušnoj cijevi uha ovih nepravilnosti više nema.

16. — Često se (naročito u Americi i Engleskoj) glasnoća odnosno zvučna snaga, ne daje u fonima nego u *decibelima* [dB]. Kod frekvencije 1 000 Hz *1* dB = *1* fon. 1 dB je deseti dio prave jedinice bel.[2]) Ova jedinica je uzeta iz dojavne tehnike i tamo služi kod računanja prigušenja. Ako s $\mathfrak{N}_1$, $\mathfrak{U}_1$, $\mathfrak{I}_1$ označimo ulazne vrijednosti, a s $\mathfrak{N}_2$, $\mathfrak{U}_2$, $\mathfrak{I}_2$ izlazne vrijednosti izmjenične snage, napona i struje, tada vrijede jednadžbe:

$$n = 10 \lg \frac{\mathfrak{N}_2}{\mathfrak{N}_1} = 20 \lg \frac{\mathfrak{U}_2}{\mathfrak{U}_1} = 20 \lg \frac{\mathfrak{I}_2}{\mathfrak{I}_1} \text{ [dB]} \quad . \quad (7)$$

Ovdje se u principu radi o istim odnosima, kao u jedn. (6) za fone. Kako se u jedn. 7) radi o odnosima, mogu se za $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{U}$, $\mathfrak{I}$ uvrstiti bilo tjemene vrijednosti, bilo efektivne. Kod upotrebe jedn. (7) za $\mathfrak{U}$ i $\mathfrak{I}$ pretpostavlja se, da dotični uređaj (na primjer pojačalo, četveropol, vod) ima jednake prilagodne otpore na ulazu i na izlazu. U akustici umjesto izmjenične snage $\mathfrak{N}$ dolazi *N*.

17. — Postoji još jedan način za proračunavanje logaritmičkih odnosa između izmjeničnih snaga, napona i struja. Ovaj se postupak ne odnosi na dekadske (Briggsove) logaritme nego na p r i r o d n e l o g a r i t m e.[3]) Kao mjerna jedinica ovdje vrijedi *neper* [Np][4]). Odgovarajuće jednadžbe glase:

$$n = \frac{1}{2} \, ln \frac{\mathfrak{N}_2}{\mathfrak{N}_1} = ln \frac{\mathfrak{U}_2}{\mathfrak{U}_1} = ln \frac{\mathfrak{I}_2}{\mathfrak{I}_1} \text{ [Np]} \quad . \quad . \quad (8)$$

[2]) U čast Amerikanca G r a h a m a B e l l a (1 847. do 1 922), ali pisano samo s jednim »l«, da se ne zamijeni s engleskom riječju »bell« (= zvono).

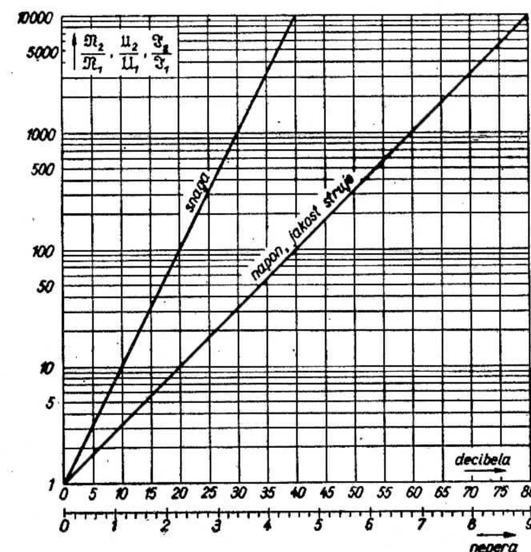
[3]) Prirodni logaritmi imaju, kao što je poznato, za bazu e = 2,71828, dok je kod dekadskih logaritama baza 10.

[4]) Po engleskom matematičaru Johnu Napieru (1 550. do 1 617), koji je pronašao prirodne logaritme.

Iznosi li na primjer izlazni izmjenični napon nekog pojačala $\mathfrak{U}_2$ = 10 V, a ulazni izmjenični napon $\mathfrak{U}_1$ = 0,5 V, tada imamo pojačanje $V_u = \mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1$ = = 10/0,5 = 20; dakle prema jedn. (8): $n = ln\ 20 \approx 3$ Np i $ln\ \mathfrak{N}_2/\mathfrak{N}_1$ = = $2n$ = 6, dakle $\mathfrak{N}_2/\mathfrak{N}_1 \approx 400$ (numerus za prirodni logaritam 6 potražiti u tablicama za prirodne logaritme!). *Prema tome 3 Np znači oko 20-struko pojačanje napona i oko 400-struko pojačanje snage.* Ako je *n pozitivna* vrijednost ($\mathfrak{U}_2 > \mathfrak{U}_1$), tada se radi o p o j a č a n j u; naprotiv, ako je *n negativno* ($\mathfrak{U}_2 < \mathfrak{U}_1$), radi se o p r i g u š e n j u. Za $\mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1 = e$ = = 2,71828 iz jedn. (8) dobiva se naponsko pojačanje $n = ln\ e = 1$ Np. Iz toga slijedi:

1 Np odgovara e = 2,718-strukom pojačanju napona,
2 Np odgovara e^2 = 7,389-strukom pojačanju napona,
3 Np odgovara e^3 = 20,1-strukom pojačanju napona itd.

Za $\mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1 = e$ iz jedn. (7) dobivamo: $n = 20 \lg e = 20 \cdot 0{,}4343$ = 8,686 dB, to jest 1 Np = 8,686 dB, odnosno 1 dB = 0,115 Np. Naročita prednost jedinica bel i neper je u tome, što se pojačanja, odnosno prigušenja, izražena u ovim jedinicama mogu jednostavno zbrajati, odnosno odbijati.



Sl. 4.

Naime: $V_u = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3$, odnosno: $\ln V_u = \ln V_1 + \ln V_2 + \ln V_3$, ili: $n = n_1 + n_2 + n_3$. Ako je $V_1 = 20$, $V_2 = 20$, $V_3 = 10$, tada je n_1 = = $n_2 = \ln 20 \approx 3$, $n_3 = \ln 10 \approx 2{,}3$, a odavle: $n = 3 + 3 + 2{,}3 = 8{,}3$ Np = 8,3 · 8,686 dB = 72 dB (odgovara V_u = 4 000). Sl. 4. prikazuje ovisnost odnosa snaga, napona i struja o jedinicama decibel i neper; vidi

jedn. (7) i (8). Tako na primjer možemo naći, da 30 dB znači odnos napona $\approx$ 32 i odnos snaga 1 000, i da je 30 dB = 3,45 Np.

18. — Decibel i neper mogu se također primijeniti i na *apsolutne* snage, napone i struje. Za *nulti nivo* kod *decibela* vrijedi slijedeća definicija:

$$\mathfrak{N}_0 = 6 \text{ mW } (\textit{na otporu } 500 \text{ oma}),\ \mathfrak{J}_0 = 3{,}46 \text{ mA},\ \mathfrak{U}_0 = 1{,}73 \text{ V},$$

kod nepera:

$$\mathfrak{N}_0 = 1 \text{ mW } (\textit{na otporu } 600 \text{ oma}),\ \mathfrak{J}_0 = 1{,}29 \text{ mA},\ \mathfrak{U}_0 = 0{,}775 \text{ V}.$$

Ako je na primjer izlazna snaga nekog pojačala + 30 dB iznad nultog nivoa, to prema sl. 4. znači 1 000-struko povišenje snage. Izlazna snaga iznosi prema tome 1 000 · 6 mV = 6 000 mW = 6 W.

Ponavljanje

Promjeni u glasnoći za 20 fona na frekvenciji 1 000 Hz odgovara 10-struka promjena zvučnog tlaka i 100-struka promjena jakosti zvuka. Kod viših, a naročito kod nižih frekvencija, potrebna je za jednaku promjenu glasnoće mnogo veća promjena zvučnog tlaka nego kod srednjih frekvencija. No što je veći zvučni tlak, to je manja ovisnost glasnoće o frekvenciji. Glasnoća se često na mjeri u fonima, nego u decibelima [dB]. Kod frekvencije 1 000 Hz 1 dB = 1 fon. Decibel (= 1/10 bela) je iz dojavne tehnike preuzeta mjera za proračunavanje faktora pojačanja i prigušenja n. Uz pretpostavku, da su kod nekog pojačala, četveropola ili voda prilagodni otpori na ulazu i izlazu jednaki, vrijede jednadžbe: $n = 10 \lg (\mathfrak{N}_2/\mathfrak{N}_1) = 20 \lg (\mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1) = 20 \lg (\mathfrak{J}_2/\mathfrak{J}_1)$ [dB], gdje je $\mathfrak{N}$ izmjenična snaga, $\mathfrak{U}$ izmjenični napon, a $\mathfrak{J}$ izmjenična struja. Katkada se n izražava također u prirodnim logaritmima i mjeri u neperima [Np]. Tada vrijede jednadžbe: $n = (½) \ln (\mathfrak{N}_2/\mathfrak{N}_1) = \ln (\mathfrak{U}_2\mathfrak{U}_1) = \ln (\mathfrak{J}_2/\mathfrak{J}_1)$ [Np]. Prema tome 1 neperu odgovara e = 2,718-struko pojačanje napona. Ako je n pozitivno, radi se o pojačanju, naprotiv negativno n znači prigušenje. 1 dB = 0,115 Np i 1 Np = 8,686 dB. U decibelima i neperima mogu se izraziti i apsolutne snage, naponi i struje. Kao *nulti nivo* za decibele vrijedi: $\mathfrak{N}_0$ = 6 mV (na otporu 500 oma), $\mathfrak{J}_0$ = 3,46 mA, $\mathfrak{U}_0$ = 1,73 V, a za nepere: $\mathfrak{N}_0$ = 1 mW (na otporu 600 oma), $\mathfrak{J}_0$ = 1,29 mA, $\mathfrak{U}_0$ = 0,775 V.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Za koliko fona se povisi glasnoća nekog tona, ako se zvučni tlak povisi na 10-struku vrijednost? *Odgovor:* Za 20 fona. — *P.:* Vrijedi li ovo za cijelo područje čujnih frekvencija? *O.:* Ne, nego samo za frekvencije oko 1 000 Hz. — *P.:* Što se može reći o ovisnosti glasnoće o frekvenciji? *O.:* Kod niskih frekvencija potrebno je za jednako povišenje glasnoće mnogo veće povišenje zvučnog tlaka nego kod srednjih frekvencija. — *P.:* Vrijedi li ovo i za visoke frekvencije? *O.:* Vrijedi, ali ovisnost jakosti glasa o frekvenciji nije tako velika kao kod srednjih frekvencija. — *P.:* Kakav utjecaj ima nivo glasnoće na ovisnost glasnoće o frekvenciji? *O.:* Kod velikih glasnoća, ovisnost o frekvenciji je manja nego kod malih glasnoća. — *P.:* U kojim se još jedinicama mjeri glasnoća? *O.:* U decibelima [dB]. — *P.:* Kakva je veza između fona i decibela? *O.:* Kod frekvencije 1 000 Hz je 1 fon = 1 dB. — *P.:* Koje se još veličine mjere u [dB]? *O.:* Logaritmički odnosi izmjeničnih snaga, izmjeničnih napona i izmjeničnih struja. — *P.:* Kako glase odgovarajuće jednadžbe? *O.:* $n = 10 \lg (\mathfrak{N}_2/\mathfrak{N}_1) = 20 \lg (\mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1) = 20 \lg (\mathfrak{J}_2/\mathfrak{J}_1)$ [dB]. — *P.:* Na koji uvjet je

ovdje potrebno pripaziti? *O.:* Kod logaritmičkih odnosa izmjeničnih napona i izmjeničnih struja moraju ulazni i izlazni prilagodni otpori dotičnog uređaja biti jednaki. —*P.:* Koju smo još jedinicu za proračunavanje odnosa snaga, napona i struja upoznali? *O.:* Neper [Np]. — *P.:* U čemu je osnovna razlika kod mjerenja u [dB] i u [Np]? *O.:* Kod decibela osnovicu čine dekadski, a kod nepera prirodni logaritmi. — *P.:* Kako glase jednadžbe za mjerenje u neperima [Np]? *O.:* $n = (1/2) \ln (\mathfrak{N}_2/\mathfrak{N}_1) = \ln (\mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1) = \ln (\mathfrak{J}_2/\mathfrak{J}_1)$ [Np]. — *P.:* Kakav je odnos između [dB] i [Np]? *O.:* 1 dB = 0,115 Np, a 1 Np = 8,686 dB. — *P.:* Mogu li se decibel i neper upotrijebiti i za mjerenje apsolutnih snaga, napona i struja? *O.:* Mogu, samo se mora odrediti nulti nivo. — *P.:* Kako je ovaj nulti nivo definiran? *O.:* Kod decibela vrijedi: $\mathfrak{N}_0$ = 6 mW (na otporu od 500 oma), $\mathfrak{J}_0$ = 3,46 mA, $\mathfrak{U}_0$ = 1,73 V, a kod nepera: $\mathfrak{N}_0$ = 1 mW (na otporu od 600 oma), $\mathfrak{J}_0$ = 1,29 mA, $\mathfrak{U}_0$ = 0,775 V.

Pitanja

4. Koliki je najveći odnos zvučnog tlaka, odnosno jakosti zvuka, koji uho može primiti?
5. Kada se dva tona iste frekvencije čuju jednakom glasnoćom?
6. Zašto se kod broja fona ne stavljaju decimalna mjesta?
7. Kakvo značenje ima ovisnost glasnoće o frekvenciji kod prijemnika i pojačala?

Zadaci

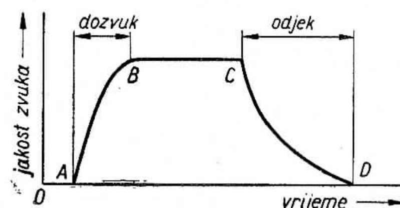
4. Koliki odnos zvučnog tlaka i jakosti zvuka odgovara promjeni u glasnoći za 25 fona kod frekvencije 1 000 Hz?
5. Koliki je zvučni tlak i jakost zvuka nekog tona od 1 000 Hz, koji ima glasnoću 46 fona?
6. Na ulazu nekog prijenosnog voda izmjeren je izmjenični napon 0,75 V, a na izlazu 0,50 V: a) Koliko je prigušenje u neperima? b) Koliko je to decibela?
7. Izmjenični naponi dviju zvučnica (gramofonskih doza) leže + 0,7 Np iznad nultog nivoa, odnosno — 1 Np ispod nultog nivoa. Koliki su ovi naponi izraženi u [V]?

Akustika prostorija

19. — Svi mi znamo da naš govor zvuči drugačije u slobodnom prostoru nego u zatvorenim prostorijama, drugačije u velikoj dvorani ili crkvi nego u sobi za stanovanje. Uklonimo li iz svoje sobe sagove i zavjese, ostavljaju izgovorene riječi drugačiji akustički utisak. Nadalje znamo da u punom kazalištu ili u potpuno ispunjenoj koncertnoj dvorani slušači imaju mnogo veći muzički užitak i da već zbog toga orkestar nerado svira u neispunjenoj dvorani. Također i kod opreme radio-studija i kod snimanja gramofonskih ploča mora se o svemu ovome voditi računa. Akustičko djelovanje neke prostorije zove se *akustika prostorije* (katkada, i to krivo, također »akustika«). U slobodnom prostoru nema, naravno, takvih prostorno-akustičkih efekata. Iz iskustva znamo, da je stanovita mjera prostorno-akustičkog efekta ne samo ugodna, nego štaviše i potrebna. Vrijedno je primijetiti, da su prostorno-akustičke zakone poznavali već i Egipćani i da su ih primjenjivali kod svojih građevina. Grci

su u svojim kazalištima u slobodnom prostoru postavljali zemljane lonce, koji su na principu rezonancije pojačavali glasnoću! Zato se zaista treba čuditi, da su se prostorno-akustički problemi počeli znanstveno istraživati tek na koncu 19. stoljeća!

20. — Sada ćemo upoznati najvažnije pojmove iz akustike prostorija. Kada neki izvor zvuka započne emitirati tonove u nekoj prostoriji, u prvi čas se zvučni vlaovi šire kao u slobodnom prostoru. No ubrzo udare oni o stijene prostorije, koje ih dijelom apsorbiraju, pri čemu se zvučna energija pretvara u toplinsku energiju, a dijelom se reflektiraju natrag u prostoriju. Reflektirani dio zvučnih valova pojačava zvučne valove koji dolaze direktno od izvora zvuka. Malo zatim ponovo udaraju o stijene, gdje opet djelomično dolazi do refleksije, a djelomično do apsorpcije. Pri tome glasnoća neprestano raste, dok se konačno apsorbirana energija ne izjednači s energijom koju emitira izvor zvuka. Ovaj proces naziva se *dozvuk* (vidi dio krivulje *AB* na sl. 5). U slobodnom prostoru dozvuka nema, jer nema stijena, od kojih bi se zvučni valovi reflektirali. Ako izvor zvuka stalno emitira ton jednake jakosti, ostaje po završetku dozvuka, koji u akustički povoljnim prostorijama traje oko 0,05 do 0,1 s, glasnoća jednako velika (vidi dio krivulje *BC* na sl. 5). Prestane li izvor zvuka s emitiranjem zvuka, neće jakost zvuka, pa dakle, ni glasnoća, naglo pasti na nulu. Zvučni valovi koji su posljednji emitirani, kreću se naime još i dalje kroz prostor. Dolazi do višestruke refleksije i apsorpcije, dok se konačno cijela zvučna energija ne pretvori u toplinsku energiju, te jakost zvuka postane jednaka nuli. Postepeno utišavanje zvuka zove se *odjek* (vidi dio krivulje *CD* na sl. 5). Krivulja na sl. 5. podsjeća nas na eksponencijalni tok nabijanja i izbijanja kondenzatora (vidi dio I sl. 21) i na proces kod ukapčanja i iskapčanja induktiviteta u krugu istosmjerne struje (vidi dio I, sl. 10). Dozvuk i odjek su također pojave eksponencijalnog karaktera.



Sl. 5.

21. — Sa stanovišta kvalitete tona muzičkih prijenosa i razumljivosti govora (vidi odsjek 19) ima odjek u akustici prostorija vrlo veliku važnost. Zato se mora poznavati *vrijeme odjeka T* dotične prostorije. Pod tim razumijevamo *vrijeme u* [s], *koje prođe dok srednja zvučna energija (jakost zvuka) od svoje početne vrijednosti padne na milijunti dio* (10^{-6}), *dakle za* 60 dB, *ili također vrijeme, kroz koje srednji zvučni tlak padne na tisući dio* (10^{-3}). U dobrim koncertnim dvoranama je T = 1 do 2,5 s. Vrijeme odjeka veće od 4 s vrlo je nepovoljno za razumljivost govora. Ako je vrijeme odjeka neke prostorije suviše veliko, mora se pomoću materijala, koji apsorbiraju zvuk (na primjer zavjese, sagovi itd.), smanjiti na dopustivu vrijednost. U slijedećoj tablici navedeno je najpovoljnije vrijeme odjeka za prostorije različitih veličina:

Kod reprodukcije ton-filmova mora vrijeme odjeka biti znatno manje, jer već snimka sadržava odjek studija u kojem je film snimljen. Bilo bi najpovoljnije da kino-dvorana uopće nema odjeka, te da se radi samo s prirodnim odjekom studija. No ovo jedva da je moguće u praksi postići. Zato se mora muzička izvedba, koja je na primjer snimljena u prostoriji s velikim odjekom, reproducirati u prostoriji koja ima što manji odjek.

Najpovoljnije vrijeme odjeka

Veličina prostorije	Vrijeme odjeka
60 m^3	1,0 s
300 m^3	1,1 s
900 m^3	1,2 s
1 100 m^3	1,3 s
2 400 m^3	1,4 s
4 000 m^3	1,5 s
5 000 m^3	1,6 s
9 000 m^3	1,7 s
12 000 m^3	1,8 s
15 000 m^3	1,9 s
20 000 m^3	2,0 s
30 000 m^3	2,1 s
40 000 m^3	2,2 s
50 000 m^3	2,4 s
70 000 m^3	2,5 s

22. — Što je veća apsorpcija zvučnih valova u nekoj prostoriji, to je manji odjek. Osim uzduha (trenje čestica uzduha, dakle proizvođenje toplinske energije!) u apsorbiranju zvučnih valova sudjeluje i materijal od kojeg se sastoje zidovi, pod i strop prostorije, a isto tako i materijal, od kojeg su građeni predmeti, koji se nalaze u dotičnoj prostoriji (pokućstvo, sagovi, zavjese itd.). Odnos reflektirane zvučne energije prema zvučnoj energiji prije refleksije označuje se kao *faktor refleksije r*. Pod *faktorom apsorpcije s* razumijevamo prema tome diferenciju $s = 1 - r$. Faktor apsorpcije je mjera za apsorbiranu zvučnu energiju. Ne smije se zaboraviti da su vrijednosti r i s jako ovisne o frekvenciji. Tako na primjer drvene stijene manje apsorbiraju frekvencije oko 1 000 Hz nego niže frekvencije, dok je upravo obrnuto kod većine drugih materijala. Najveći stupanj apsorpcije $s = 1$ ima *otvoren prozor;* od njega se ne reflektira nikakva energija ($r = 0$). Stupnjevi apsorpcije različitih materijala i predmeta izražavaju se kao razlomci ovog najvećeg stupnja apsorpcije. Kao osnovica uzet je otvoren prozor s površinom od 1 m^2. Tako na primjer ožbukani zid od opeka ima stupanj apsorpcije 0,025, što znači da 1 m^2 žbuke na zidu apsorbira isto toliko koliko 0,025 m^2 otvorenog prozora ili 200 m^2 žbuke apsorbira toliko koliko $200 \cdot 0{,}025 = 5$ m^2 otvorenog prozora. Stupanj apsorpcije odjevenog čovjeka je 0,45, dakle otprilike isti kao kod približno 0,5 m^2 otvorenog prozora. Isto toliki stupanj apsorpcije ima također tapetiran stolac! Što više m^2 otvorenog prozora izračunamo, to smo bliže slobodnoj prirodi. U koncertnim dvoranama, u kojima se muzicira bez publike (na primjer prilikom snimanja gramofonskih ploča!) i u kojima nema tapetiranih stolaca, potrebno je prigušenje od publike nadomjestiti prigušenjem pokrivača, kojima se

prekriju redovi stolaca. Samo tako je moguće snimiti ploče bez neugodnog odjeka studija. U slijedećoj tablici navedeni su najvažniji faktori apsorpcije kod frekvencije 500 Hz:

Faktori apsorpcije kod frekvencije 500 Hz

1 m² otvorenog prozora	$s = 1{,}0$
1 m² zavjese (baršun s naborima)	0,7
1 pojedinačna osoba	0,45
1 m² zavjese (teške)	0,35
1 m² saga, pluto (debljine 25 mm)	0,25
1 m² zavjese (lagane), tapetiranog pokućstva, celotex-ploče	0,2
1 m² saga od kokosovog lika	0,17
1 kožnati stolac, 1 m² kreton-tkanine	0,15
1 m² stijene zastrte teškom svilom	0,11
1 m² drvene stijene	0,07
1 m² drvene stijene (lakirane)	0,03
1 m² zida od opeke (ožbukanog), stakla	0,025
1 m² betonskog zida	0,015
1 m² mramornog zida	0,010

23. — Prema mjerenjima Amerikanca *Sabinea* vrijeme odjeka ovisi o volumenu prostorije, a samo neznatno o obliku prostorije, ukoliko zbog pogrešne gradnje ne dolazi do naročitih rezonantnih pojava i jeke i do stojnih valova. Vrijedi naime zakon odjeka:

$$T = 0{,}16 \cdot \frac{V}{F \cdot s} \qquad (9)$$

Vrijeme odjeka T dobije se u [s], ako se volumen prostorije V uvrsti u [m³], a unutranja površina prostorije F u [m²]. Zakon odjeka vrijedi samo onda, ako je gustoća zvučne energije na svakom mjestu prostorije jednaka. Ako u prostoriji ima na primjer velikih udubina i loža, tako da dolazi do velikih razlika u gustoći zvučne energije i u faktoru apsorpcije, tada je potrebno u jedn. (9) na mjesto s staviti vrijednost $\ln(1 - s)$. Nazivnik $F \cdot s$ predstavlja ukupnu apsorpciju, to jest $F \cdot s = F_1 \cdot s_1 + F_2 \cdot s_2 + F_3 \cdot s_3 + \ldots$ Potrebno je dakle uvijek načiniti pojedinačne produkte iz površina, odnosno broja komada s različitim faktorom apsorpcije, i dotičnih faktora apsorpcije, a zatim ih zbrojiti. Pri tome se moraju uzeti u obzir ne samo zidovi, strop i pod prostorije, nego i svi ljudi i predmeti koji se u prostoriji nalaze. Iz toga slijedi da prostorije koje su potpuno ispunjene, djelomično ispunjene ili prazne, imaju sasvim različito vrijeme odjeka. Uđe li na primjer 500 osoba u dvoranu kazališta, tada se ukupna apsorpcija poveća za $500 \cdot 0{,}45 = 225$ m² otvorenog prozora. Sag veličine 20 m² povećao bi ukupni faktor apsorpcije za $20 \cdot 0{,}25 = 5$ m² otvorenog prozora.

Ponavljanje

Akustičko djelovanje prostorija, akustika prostorija, ima veliko značenje kod snimanja i reprodukcije govora i muzike. Ako neki izvor zvuka počne emitirati zvuk u nekoj prostoriji, tada jakost zvuka, odnosno glasnoća, ne postigne odmah najvišu vrijednost, nego postepeno. Ova pojava, koja nastaje zbog višestruke refleksije i apsorpcije na unutarnjim plohama prostorije, zove se dozvuk. Po prestanku djelovanja izvora zvuka isto tako jakost zvuka, odnosno glasnoća, ne opadne naglo na vrijednost nula, nego također postepeno. U ovom slučaju govorimo o odjeku. Vrijeme odjeka je ono vrijeme u [s], koje prođe dok srednja zvučna energija padne na milijunti dio, odnosno srednji zvučni tlak na tisući dio početne vrijednosti. Kod dobrih koncertnih dvorana najpovoljnije vrijeme odjeka nalazi se između 1 s i 2,5 s. Svaki prostor u većoj ili manjoj mjeri prigušuje zvučne valove. Ovo prigušenje određuje veličinu odjeka. Mjera za prigušenje je faktor apsorpcije $s = 1 - r$; r je faktor refleksije, dakle odnos reflektirane zvučne energije prema zvučnoj energiji prije refleksije. Faktori r i s jako su ovisni o frekvenciji. Najveći faktor apsorpcije $s = 1$ ima otvoren prozor; zbog toga se svi faktori apsorpcije odnose na 1 m² otvorena prozora. Vrijeme odjeka T može se izračunati po *Sabineovu* zakonu odjeka: $T = 0{,}16\ V/(F \cdot s)$, gdje je V volumen prostorije u [m³], F unutarnja površina prostorije u [m²], a s faktor apsorpcije. Produkt $F \cdot s$ predstavlja ukupnu apsorpciju, dakle sumu svih pojedinačnih produkata iz površina odnosno broja komada s različitim faktorima apsorpcije, i dotičnih faktora apsorpcije.

Pitanja i odgovori

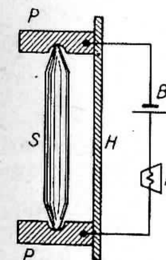
Pitanje: Što razumijevamo pod akustikom prostorija? *Odgovor:* Akustičko djelovanje prostorije na govor i muziku. — *P.:* Zbog čega dolazi do prostorno-akustičkih efekata? *O.:* Zbog višestruke refleksije i apsorpcije zvučnih valova na plohama prostorije i na predmetima u njoj. — *P.:* Koje pojave možemo opaziti na početku i na kraju djelovanja izvora zvuka? *O.:* Dozvuk i odjek. — *P.:* Koliki su dozvuk i odjek u akustički dobrim prostorijama? *O.:* Dozvuk traje od 0,05 do 0,1 s, a odjek od 1 do 2,5 s. — *P.:* Što razumijevamo pod vremenom odjeka? *O.:* Vrijeme koje prođe dok srednja zvučna energija padne na milijunti dio, odnosno srednji zvučni tlak na tisući dio, dakle za 60 dB. — *P.:* Što je faktor refleksije r? *O.:* Odnos reflektirane energije prema energiji prije refleksije. — *P.:* Što služi kao mjera za apsorbiranu zvučnu energiju? *O.:* Faktor apsorpcije $s = 1 - r$. — *P.:* Na što treba naročito paziti kod faktora r i s? *O.:* Oni su jako ovisni o frekvenciji. — *P.:* Koliki faktor apsorpcije ima otvoren prozor? *O.:* Najveći mogući faktor apsorpcije $s = 1$. — *P.:* Što znači kad se kaže da faktor apsorpcije 1 m² saga iznosi 0,25? *O.:* Znači da 1 m² saga apsorbira isto toliko koliko 0,25 m² otvorena prozora. — *P.:* Kako se vrijeme odjeka može izračunati? *O.:* Po Sabineovu zakonu odjeka: $T = 0{,}16\ V/(F \cdot s)$. — *P.:* Kako se izračuna izraz $F \cdot s$? *O.:* Tako, da se svi pojedinačni produkti iz površina, odnosno brojeva komada s različitim faktorima apsorpcije i pripadnih faktora apsorpcije zbroje. — *P.:* Što se sve pri tome mora uzeti u obzir? *O.:* Ne samo stijene, strop i pod prostorije, nego i svi ljudi i predmeti koji se nalaze u prostoriji

II. Snimanje i reprodukcija zvuka

Ugljeni mikrofoni

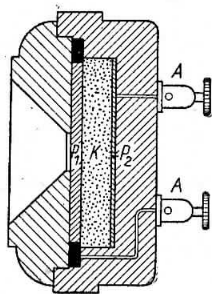
24. — Prirodnost i jasnoća neke radio-emisije, reprodukcije gramofonske ploče ili tonfilmske snimke, kao i lokalnog prijenosa muzike ili govora, ovisi u prvom redu o upotrijebljenom *mikrofonu*. Mikrofon je uvijek prvi član u prijenosnom uređaju. Kako nam je već poznato iz fizike, mikrofonu je zadatak da akustičke titraje muzike ili govora pretvara u promjene električkog napona ili struje. Da se ovo postigne iskorišćene su različite fizikalne pojave. U praksi su se održale slijedeće vrste mikrofona: ugljeni mikrofon, elektrodinamički mikrofon (na primjer mikrofon s vrpcom), elektrostatski mikrofon (kondenzatorski mikrofon) i piezoelektrički mikrofon (kristalni mikrofon). Visokokvalitetni mikrofon treba da praktički bez linearnih i nelinearnih izobličenja obuhvaća tonfrekventno područje od kojih 40, pa do 10 000 Hz (vidi dio II, odsjeke 65, 77 i 108). Nadalje je potrebno, da mikrofon ima što veću osjetljivost, to jest da već kod neznatnih zvučnih pritisaka daje što veći izmjenični napon. Osjetljivost mikrofona se naznačuje u [mV/μb]; tako na primjer govornik, koji je od mikrofona udaljen kojih 30 cm, proizvodi u mikrofonu zvučni tlak oko 5 do 10 μb.

25. — Najstariji mikrofon je *kontaktni mikrofon* Amerikanina *Hughesa* (čitaj: Hjûs) (1878). Godine 1860. je njemački učitelj *Philipp Reis* sagradio mikrofon, koji je ostao nezapažen. Kako se vidi iz sl. 6. kontaktni mikrofon se sastoji od ugljenog štapića *S*, kojemu zašiljeni krajevi stoje u izdubinama ugljenih ploča *P*. Ovaj uređaj smješten je na drvenu daščicu *H* i vodovima je spojen s baterijom *B* i slušalicom *K*. Kad se govori prema drvenoj ploči, tada ploča mehanički titra, što se prenosi i na ugljeni štapić *S*. Time se mijenja kontaktni pritisak, pa prema tome i prelazni otpor između štapića *S* i ploča *P*, te se jakost istosmjerne struje, koja teče kroz štapić *S*, mijenja u taktu zvučnih valova. Događa se, dakle, kao da je istosmjernoj struji superponirana niskofrekventna izmjenična struja, koja odgovara zvučnim titrajima. Ova izmjenična struja stvara u slušalici *K* zvučne titraje. Osjetljivost kontaktnog mikrofona je vrlo malena; no ona se može povisiti, ako se upotrijebi više ugljenih štapića.



Sl. 6.

26. — Osjetljivost se znatno povisuje, ako se umjesto ugljenih štapića upotrijebe *ugljena zrnca*, jer se time dobiva mnogo veći broj nesigurnih (labavih) kontaktnih mjesta! Tako dobivamo *mikrofon s ugljenim zrncima* (sl. 7). Između ugljenih ploča P_1 i P_2, koje su spojene s priključnicama A i ujedno služe kao elektrode za dovod struje, leže ugljena zrnca K. Kako kod govora ploča P_1 mehanički titra, ugljena zrnca se tresu. Tako nastaju odgovarajuće promjene otpora, te se jakost istosmjerne struje, koja teče kroz ugljena zrnca, mijenja u taktu zvučnih titraja. Mikrofon s ugljenim zrncima djeluje u neku ruku kao mnoštvo paralelno spojenih jednostavnih mikrofona. Slični mikrofoni s ugljenim zrncima danas se općenito upotrebljavaju u dojavnoj tehnici.



Sl. 7.

27. — Iako je sporazumijevanje pomoću ovih jednostavnih mikrofona s ugljenim zrncima moguće, ipak oni nisu upotrebljivi za prijenos muzike. Ovakvi mikrofoni prenose samo frekventno područje od nekih 100 do 3 000 Hz, i to sa znatnim linearnim izobličenjem. Uzrok ovome je ugljena ploča P_1, koja djeluje kao membrana (vidi sl. 7). Svaka naime membrana ima izrazito rezonantno područje (vlastitu frekvenciju), u kojem ona naročito lako titra. K tome ova membrana može raditi samo u j e d n u s t r a n u, jer se s jedne strane nalazi zrak, a s druge strane ugljena zrnca; membrana ne može dakle titrati jednoliko na obje strane, te nastaju nelinearna izobličenja. Osim toga, sastav mase, koju čine ugljena zrnca, ima znatan utjecaj na frekventnu karakteristiku mikrofona. Što su ugljena zrnca sitnija, finija, ugljena masa bolje slijedi titraje membrane. No tada su promjene električkog otpora manje, pa je prema tome i manji izlazni izmjenični napon, nego onda kad zrnca imaju veće dimenzije. Debljina sloja ugljenih zrnaca ne smije biti veća od 2 do 3 mm, kako bi cijela ugljena masa mogla sudjelovati u titranju i kako bi se izbjegle nepoželjne vlastite frekvencije.

Ponavljanje

Mikrofon kao prvi član u uređaju za prijenos zvuka pretvara akustičke titraje u električke promjene napona ili struje. Od dobrog mikrofona se traži, da ima što manja linearna i nelinearna izobličenja, da obuhvaća tonfrekventno područje od 40 do 10 000 Hz i da ima dovoljno veliku osjetljivost. Najstariji mikrofon je kontaktni mikrofon; kod njega zvučni valovi uzrokuju mehaničke titraje ugljenog štapića, koji labavo stoji u svojim ležajima. Time se mijenja kontaktni pritisak, te dakle i prijelazni otpor štapića, tako da se jakost struje koja teče kroz štapić, mijenja u taktu titraja zvuka. Ove se promjene jakosti struje u slušalici pretvaraju u zvučne titraje. Osjetljivost mikrofona može se znatno povećati upotrebom mase od ugljenih zrnaca umjesto ugljenih štapića (mikrofon s ugljenim zrncima).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi mikrofon? *Odgovor:* Njegov je zadatak da akustičke titraje pretvara u električke promjene napona ili struje. — *P.:* Koji se zahtjevi stavljaju na dobar mikrofon? *O.:* Da obuhvaća što veće tonfrekventno područje (od 40 do 10 000 Hz), da su linearna i nelinearna izobličenja što manja, i da ima veliku osjetljivost. — *P.:* U kojim se jedinicama naznačuje osjetljivost mikrofona? *O.:* U [mV] po [μb]. — *P.:* Koji je najstariji mikrofon? *O.:* Kontaktni mikrofon. — *P.:* Kako kod njega dolazi do promjena jakosti struje? *O.:* Ugljeni štapić, koji u svojim ležajima stoji labavo, uslijed djelovanja zvučnih valova mehanički titra, zbog čega nastaju odgovarajuće promjene kontaktnog pritiska. Time se mijenja prijelazni otpor ugljenog štapića, te nastaju promjene jakosti struje u taktu zvučnih titraja. — *P.:* Kako se može povećati osjetljivost mikrofona? *O.:* Upotrebom više ugljenih štapića, ili još znatno bolje, upotrebom mase od ugljenih zrnaca.

Pitanja

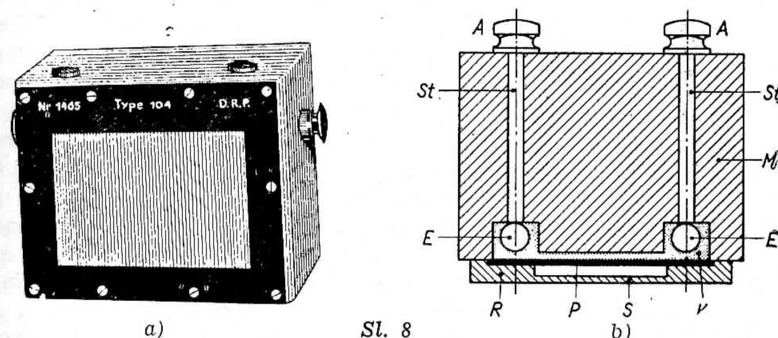
8. S čime smo usporedili vremenski tok dozvuka i odjeka?
9. Koje su osnovne karakteristične veličine u akustici prostorija?

Zadaci

8. Neka dvorana je 30 m duga, 16 m široka i 5 m visoka, i ima ukupnu apsorpcionu vrijednost 40 m² otvorenog prozora: a) Kako je velik odjek praznog prostora? b) Kako je velik odjek, ako se stijene oblože sa 32 m² tkanine i ako se u dvorani nalazi 700 osoba?

9. Koncertna dvorana volumena 4 000 m³ treba da ima optimalni odjek: a) Kolika mora biti ukupna apsorpcija? b) Koliki koeficijent apsorpcije otpada na samu dvoranu i na predmete u njoj, ako je u dvorani prisutno 860 slušača?

28. — Kvaliteta reprodukcije mikrofona s ugljenim zrncima može se znatno poboljšati tako, da se kao dovodna elektroda za mikrofonsku struju ne upotrijebi membrana. Kao membrana i ujedno kao poklopac ko-

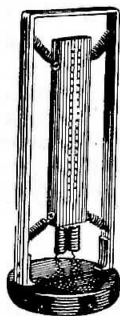


a) *Sl. 8* b)

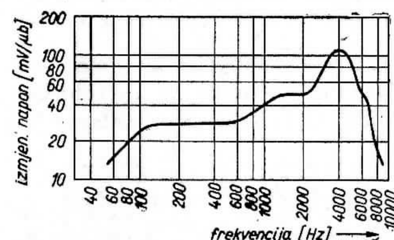
morice za ugljena zrnca upotrebljava se pločica od tinjca ili membrana od celofana ili gume, koja ima masu i elastičnost tako odabranu, da ugljena zrnca dovoljno jako prigušuju vlastite titraje membrane u čujnom području, te membrana izvodi samo još prisiljene titraje. Poznati predstavnik ove vrsti mikrofona prikazan je na sl. 8. Komorica s uglje-

3 Daudt: Radio-tehnika III

nim zrncima *K* nalazi se u masivnom mramornom bloku *M* (sl. 8b), da se spriječi štetno vlastito titranje mikrofonskog kućišta; na sl. 8a na gornjoj plohi mramornog bloka vidimo dva otvora za punjenje mikrofona, dok se pomoću bočnih vijaka može mikrofon objesiti u odgovarajući metalni prsten. Membranu *P*, koja zatvara komoricu s ugljenim zrncima *K*, od dodira štiti tkanina *S* napeta u okviru *R*. Protivno prijašnjim mikrofonima s ugljenim zrncima ovdje mikrofonska struja ne teče više kroz zrnca u poprečnom smjeru, dakle okomito na ravninu membrane, nego u u z d u ž n o m s m j e r u, i to od jedne metalne elektrode *E*, koja ima oblik štapića, k drugoj. Elektrode *E* su pomoću metalnih štapića *St* spojene s priključnim vijcima *A*, koji se nalaze na stražnjoj strani mramornog bloka. Zbog relativno velike govorne plohe (oko 50 cm²) omski otpor između elektroda *E* nije velik, iako je put struje kroz ugljenu masu dug. Omski otpor (otpor za istosmjernu struju) kod ove vrste mikrofona iznosi oko 100 do 300 oma, odnosno 10 do 50 oma; prema tome razlikujemo visokoomske i niskoomske mikrofone s ugljenim zrncima. Napon mikrofonske baterije je između 4 i 12 V, a izlazni izmjenični napon iznosi 10 mV/µb i 20 mV/µb kod visokoomskih, a 60 mV/µb i 150 mV/µb kod niskoomskih mikrofona, i to iza mikrofonskog transformatora s prijenosnim odnosom 1 : 25. Područje frekvencija, koje ovaj mikrofon praktički jednoliko prenosi, seže od 40 Hz pa do 12 000 Hz, tako da se ovim mikrofonom mogu vršiti također i kvalitetni prijenosi muzike. Nadalje na sl. 9. vidimo drugu vrstu ugljenih mikrofona, naime tako-zvani *mikrofon s komoricama*. Ovdje se ugljena zrnca ne nalaze u jednom prostoru nego u dvadeset komorica, koje su međusobno paralelno vezane pomoću ugljenih štapića. Kao membrana upotrijebljena je tanka pločica od tinjca, koja je sprijeda zaštićena izrupičanim limom. Kao što se vidi na sl. 10. frekventno područje ovog mikrofona se nalazi između 50 i 9 000 Hz, samo što frekventna krivulja nije tako povoljna, kao kod mikrofona koji smo prije opisali. Mikrofon s komoricama može se upotrijebiti ne samo za prijenos govora, nego i za prijenos muzike, ukoliko zahtjevi nisu suviše veliki. Još nekoliko brojčanih podataka o ovom mikrofonu: napon baterije 8 V, omski otpor 125 oma, izlazni napon (iza mikrofonskog transformatora) 40 do 60 mV/µb (usporedi sl. 10).

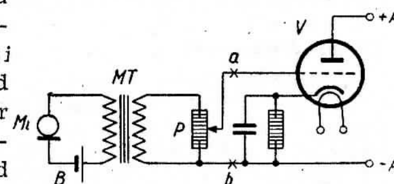


Sl. 9.



Sl. 10.

29. — Sl. 11. prikazuje kako se ugljeni mikrofon p r i k l j u č u j e na niskofrekventno pojačalo. Mikrofonski transformator *MT* prilagođuje niski omski otpor mikrofona na visoki otpor rešetkinog kruga ulazne elektronke *V* (vidi dio II, odsjek 89). Istodobno se pomoću transformatora (prijenosni odnos većinom 1 : 10 do 1 : 25) dobiva znatno povišenje izmjeničnog napona koji daje mikrofon. Prijenosni odnos se izračunava prema dijelu II, jedn. (40). Kako kroz primarni namotaj ovog transformatora teče relativno jaka mikrofonska istosmjerna struja iz baterije *B* (oko 20 do 300 mA, već prema vrsti mikrofona), potrebno je željeznu jezgru obilno dimenzionirati, da se izbjegnu nelinearna izobličenja koja nastaju zbog suviše velikog istosmjernog predmagnetiziranja (vidi dio II, odsjeke 92 i 93). Potenciometar *P*, koji ima otpor od 0,1 do 0,5 megoma, služi kao regulator glasnoće; što je klizač niže, to je glasnoća manja. Dvožilni oklopljeni vod (oklop uzemljiti!) između regulatora glasnoće i rešetkinog kruga elektronke *V* ne smije biti duži od jednog metra, kako ne bi došlo do induktivnih i kapacitivnih smetnji iz mreže, a također do zapostavljanja viših frekvencija, jer kapacitet voda djeluje kao odvod. Priključak se može izvesti i tako, da se tačke *a* i *b* priključe na priključnice za gramofonsku dozu kod prijemnika ili pojačala. Između ugljenog mikrofona i mikrofonskog transformatora smije se upotrijebiti dvožilni oklopljeni kabel dužine najviše 200 m, da ne bi došlo do spomenutih utjecaja.



Sl. 11.

30. — Iako danas postoje kvalitetni ugljeni mikrofoni, ne smijemo zaboraviti, da svaki ugljeni mikrofon ima više n e d o s t a t a k a. Zbog toga se ovi mikrofoni danas više ne upotrebljavaju u radiodifuznoj službi. Kod jakog zvuka dolazi naime do jakih nelinearnih i z o b l i č e n j a, i to zbog jednostranog rada membrane, kao i zbog drugih razloga. Nadalje ugljeni mikrofon ima g r a n i c u o s j e t l j i v o s t i. On radi tek onda kad zvučni tlak prijeđe stanovitu minimalnu vrijednost. Zato se kod prijenosa muzike gube mnoge finese. Daljnji nedostatak je šuštanje koje nastaje zbog promjene otpora kontaktnih mjesta, ako dođe do slučajne trešnje, kao i uslijed toga što mikrofonska istosmjerna struja ugrijava ugljenu masu. Ove promjene otpora uzrokuju trajno šuštanje, koje se kod prijenosa neugodno osjeća za vrijeme tihih mjesta muzike kao i za vrijeme stanki kod govora. P r e d n o s t ugljenog mikrofona je u tome, što mu je izlazni napon u poređenju s ostalim vrstama mikrofona relativno velik. Ugljeni mikrofon daje veću električku energiju nego što je primi od zvuka; ovo povećanje energije koje se dobiva na račun mikrofonske baterije, iznosi oko 1 000!

Ponavljanje

Kod najboljih ugljenih mikrofona mikrofonska struja teče kroz ugljenu masu, u uzdužnom smjeru. Pri tome membrana mikrofona ne

služi više kao dovodna elektroda. Mikrofon s komoricama ima 20 komorica s ugljenim zrncima. Komorice su spojene paralelno. Postoje visokoomski (100 do 300 oma) i niskoomski (10 do 50 oma) ugljeni mikrofoni. Izlazni izmjenični napon iznosi, već prema vrsti mikrofona, oko 10 do 150 mV/μb. Ugljeni mikrofon se priključuje na pojačalo preko transformatora s velikim prijenosnim odnosom. Mikrofonski transformator prilagođuje niski otpor mikrofona na visoki otpor rešetkinog kruga ulazne elektronke pojačala, a istodobno znatno povisuje izmjenični napon. Mikrofonski kabeli moraju biti oklopljeni, da se izbjegnu smetnje brujanja iz mreže. Ugljeni mikrofoni imaju slijedeće nedostatke: visok stupanj izobličenja kod jakog zvuka, granicu osjetljivosti i šuštanje.

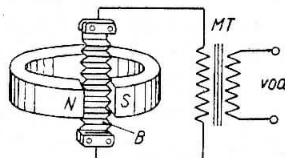
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može poboljšati reprodukcija ugljenog mikrofona? *Odgovor:* Tako da mikrofonska istosmjerna struja teče u uzdužnom smjeru i da membrana ne služi kao elektroda koja dovodi struju. — *P.:* Kako je građen mikrofon s komoricama? *O.:* Kod ovog mikrofona ugljena zrnca se nalaze u 20 paralelno spojenih komorica. — *P.:* Kako smo podijelili ugljene mikrofone? *O.:* Na visokoomske i niskoomske. — *P.:* Kakav zadatak ima mikrofonski transformator? *O.:* On prilagođuje niski otpor mikrofona na visoki otpor rešetkinog kruga ulazne elektronke pojačala, a osim toga povisuje izmjenični napon. — *P.:* Što se može reći o mikrofonskim vodovima? *O.:* Da se izbjegnu smetnje iz mreže, oni moraju biti oklopljeni, a oklop uzemljen. — *P.:* Koje nedostatke imaju ugljeni mikrofoni? *O.:* Visok stupanj izobličenja kod jakog zvuka, granicu osjetljivosti i šuštanje.

Elektrodinamički mikrofoni

31. — Nedostaci ugljenog mikrofona spomenuti u odsjeku 30. dali su povoda da se na razvijanju mikrofona dalje radilo. Tako se je došlo do *elektrodinamičkih mikrofona* (ili samo *dinamičkih mikrofona*), koji su u mnogome znatno iznad ugljenih mikrofona. Djelovanje dinamičkih mikrofona osniva se na poznatom zakonu elektrotehnike: giblje li se vodič u homogenom magnetskom polju, to se u vodiču inducira izmjenični napon $\mathfrak{E}$, koji je ovisan o magnetskoj indukciji (gustoći silnica po cm^2) $\mathfrak{B}$, duljini l i brzini v vodiča. Dakle: $\mathfrak{E} = \mathfrak{B} \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8}$ [V].

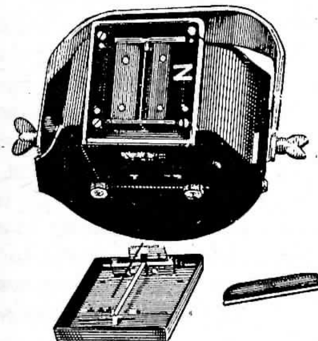
Kod mikrofona s vrpcom kao najpoznatijeg predstavnika elektrodinamičkih mikrofona nalazi se u polju jakog permanentnog magneta N — S mala aluminijska vrpca B debljine samo 0,002 do 0,005 mm, duljine 50 do 60 mm i širine 2 do 3 mm. Vrpca ujedno služi i kao pokretni vodič i kao membrana (sl. 12). Kako bi se dobila dovoljna krutost, vrpca je poprečno narebrana. Zbog djelovanja zvučnih valova aluminijska vrpca titra. Brzina gibanja vrpce određena je frekvencijom zvučnih titraja. Što je viša frekvencija to brže vrpca titra, te je to veća i srednja brzina v vrpce. Iz toga slijedi da inducirani napon raste s porastom frekvencije,



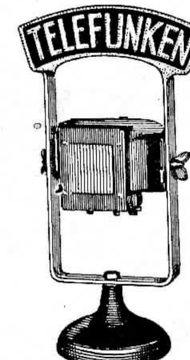
Sl. 12.

dok su veličine $\mathfrak{B}$ i l konstantne. No mi od mikrofona tražimo da on kod svih frekvencija uz isti zvučni tlak daje **j e d n a k i** napon. Da se to postigne moramo se pobrinuti da brzina, a prema tome i amplituda vrpce, linearno **o p a d a** s porastom frekvencije. To se dobiva onda, ako je vlastita frekvencija vrpce na **d o n j o j** granici čujnog područja (oko 10 do 15 Hz). U ovom slučaju naime amplituda vrpce opada s porastom frekvencije. No kako je ovo opadanje suviše naglo, mora iza vrpce postojati nekoliko uzdužnih prostora. Vlastite frekvencije ovih prostora su više nego vlastita frekvencija vrpce. U blizini vlastitih frekvencija ovih prostora titranje uzduha povlači vrpcu na jače titranje, te ne dolazi do naglog opadanja frekventne krivulje kod visokih frekvencija. U tonfrekventnom području, koje mikrofon treba da prenosi, moraju rezonantna mjesta biti jednoliko raspoređena.

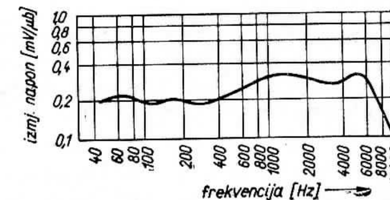
32. — Omski otpor vrpce iznosi tek nekoliko desetinki oma. Transformator *MT* s velikim prijenosnim odnosom, koji je ugrađen u mikrofon, prilagođuje maleni otpor vrpce na otpor voda od 200 oma (vidi sl. 12). Zbog toga se između mikrofona i pojačala može upotrijebiti i do 200 m dugi oklopljeni kabel. Na ulazu u pojačalo potreban je transformator (1 : 10 do 1 : 20), koji otpor voda prilagođuje na visoki otpor rešetkinog kruga prve elektronke (usporedi odsjek 29). Na sl. 13. vidimo unutarnju konstrukciju jednog mikrofona s vrpcom. Vide se polovi prstenastog permanentnog magneta (jedan pol je označen sa N), a iza njih uzdušni prostor s raznim udubljenjima. Među polovima titra vrpca, koja je učvršćena u posebnom okviru. U slučaju oštećenja vrpce može se ovaj okvir lako skinuti i vrpca na licu mjesta promijeniti. Vanjski iz-



Sl. 13.



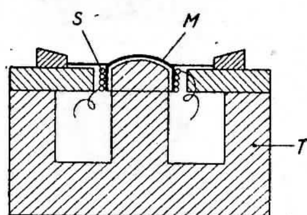
Sl. 14.



Sl. 15.

gled ovog mikrofona obješenog u stalku vidimo na sl. 14. Kao što se vidi iz sl. 15, frekventna krivulja je mnogo bolja nego kod ugljenog mikrofona prikazanog na sl. 10. No zato je izlazni izmjenični napon znatno manji. Na frekvenciji 1 000 Hz napon iznosi tek oko 0,3 mV/µb (na otporu od 200 oma), tako da je redovito potrebno pred glavno pojačalo staviti dvostepeno mikrofonsko pretpojačalo (na primjer u otpornom spoju). Valovitost frekventne krivulje potječe od vlastitih titraja uzdušnih prostora (vidi odsjek 31). Mikrofon s vrpcom ima pred ugljenim mikrofonom više bitnih prednosti, kao što su: potpuno je bez šuma, nema granice osjetljivosti, nema nelinearnih izobličenja kod jakog zvuka, neosjetljiv je prema mehaničkim trešnjama i atmosferskom utjecaju, nije mu potrebna mikrofonska baterija. Zbog toga je mikrofon s vrpcom visokokvalitetni mikrofon, koji se mnogo upotrebljava za prenošenje govora i muzike svih vrsta.

33. — Na istom principu kao i mikrofon s vrpcom osniva se i *mikrofon s titrajnom zavojnicom.* On je građen slično elektrodinamičkom zvučniku. U polju lončastog magneta *T* (sl. 16) titra kupolasta aluminijska membrana *M,* na koju je pričvršćena titrajna zavojnica *S* uvučena u uzdušni raspor magneta. U titrajnoj zavojnici, koja uslijed djelovanja zvučnih valova titra, proizvodi se izmjenični napon. Ovaj napon iznosi 5 do 6 mV/µb, te je prema tome veći od izmjeničnog napona bilo kojeg drugog kvalitetnog mikrofona. Preko transformatora s prijenosnim odnosom 1 : 20 može se ovaj mikrofon direktno, bez posebnog pretpojačala, priključiti na obično niskofrekventno pojačalo.



Sl. 16.

Ponavljanje

Elektrodinamički mikrofoni imaju mnoge prednosti pred ugljenim mikrofonima. Kod *mikrofona s vrpcom* giblje se vrlo tanka narebrana vrpca u polju jakog magneta, te se na krajevima vrpce pojavljuje izmjenični napon. Da se postigne što veća linearnost frekventne krivulje, nalaze se iza vrpce više uzdušnih prostora. Pomoću ugrađenog transformatora transformira se otpor vrpce, koji iznosi tek nekoliko desetinki oma, na vrijednost od 200 oma, kako bi se mogli upotrijebiti dugi mikrofonski vodovi. Prednosti mikrofona s vrpcom su u tome što je: bez šuma, bez granice osjetljivosti, neosjetljiv na trešnju i atmosferske utjecaje, nije mu potrebna mikrofonska baterija. Kod *mikrofona s titrajnom zavojnicom,* koji daje naročito visok izmjenični napon, umjesto vrpce u polju jakog lončastog magneta titra kupolasta membrana. Na membranu je pričvršćena titrajna zavojnica.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što su elektrodinamički mikrofoni? *Odgovor:* Mikrofoni kod kojih se u vodiču, koji se pokreće uslijed djelovanja zvučnih titraja uzduha, inducira izmjenični napon. — *P.:* Koji oblik ima ovaj vodič? *O.:* Ima oblik vrlo tanke narebrane vrpce ili oblik titrajne zavojnice. —

P.: Kako se zovu odgovarajući mikrofoni? *O.:* Mikrofoni s vrpcom i mikrofoni s titrajnom zavojnicom. — *P.:* Kako se kod mikrofona s vrpcom postiže linearnost frekventne karakteristike? *O.:* Tako što se iza vrpce nalazi više uzdušnih rezonantnih prostora. — *P.:* Kakvo djelovanje imaju ovi uzdušni prostori? *O.:* Oni pobuđuju vrpcu u blizini vlastitih frekvencija na jako titranje, te se tako izbjegava naglo opadanje frekventne krivulje kod visokih frekvencija. — *P.:* Zašto mikrofon s vrpcom ima transformator? *O.:* Da omski otpor vrpce, koji iznosi tek nekoliko desetinki oma, transformira na vrijednost od 200 oma. — *P.:* Što se time dobiva? *O.:* Osim toga što se dobiva viši izmjenični napon, može se mikrofon priključiti na mikrofonski vod, koji je dug i do 200 m. — *P.:* Čime se odlikuje mikrofon s vrpcom pred ugljenim mikrofonom? *O.:* Radi potpuno bez šuma, nema granice osjetljivosti, nema nelinearnih izobličenja kod jakog zvuka, neosjetljiv je na trešnju i atmosferske utjecaje, nije mu potrebna mikrofonska baterija. — *P.:* Koja je naročita odlika mikrofona s titrajnom zavojnicom? *O.:* Daje naročito visok izmjenični napon.

Pitanja

10. Koliki izmjenični napon daju kvalitetni ugljeni mikrofoni?

11. Kako se mikrofon s vrpcom priključuje na ulazni krug pojačala?

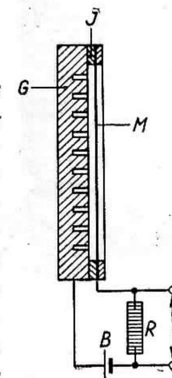
Zadaci

10. Niskoomski ugljeni mikrofon daje iza mikrofonskog transformatora izmjenični napon od 100 mV (tjemena vrijednost). Koliko treba da bude pojačanje napona, ako izlazni stupanj pojačala treba da daje snagu od 8 W na opteretnom otporu od 3,5 kΩ?

11. Vrpca nekog mikrofona ima otpor od 0,4 oma. Ovaj otpor potrebno je pomoću transformatora transformirati na otpor voda od 200 oma. a) Koliki treba da bude prijenosni odnos transformatora? b) Na koju se vrijednost transformira otpor voda pomoću transformatora s prijenosnim odnosom 1 : 20 ? c) Koliki je ukupni prijenosni odnos?

Elektrostatski mikrofoni

34. — Najkvalitetniji mikrofoni su *elektrostatski mikrofoni,* koji se zbog principa, na kojem se osnivaju, zovu i *kondenzatorski mikrofoni.* Odlike ovih mikrofona jesu: potpuno su bez šuma, nemaju granice osjetljivosti, faktor izobličenja im je vanredno malen, imaju vrlo širok i ujednačen frekventni pojas, nisu osjetljivi na udar i trešnju. Svagdje gdje se traži naročito kvalitetan prijenos zvuka, upotrebljavaju se danas kondenzatorski mikrofoni, kao na primjer u radio-stanicama, kod snimanja tonfilmova i gramofonskih ploča, kod velikih razglasnih uređaja, a također i za mjerne svrhe. Mikrofonski sistem kondenzatorskog mikrofona je električki k o n d e n z a t o r, kod kojeg čvrsta kružna izrupičana metalna ploča (protuelektroda) *G* (sl. 17) predstavlja jedan »oblog«, a vrlo tanka (oko 10^{-3} mm) metalna folija (na primjer aluminij), ili membrana *M* od izolacionog materijala prevučena listom od zlata, drugi »oblog« kondenzatora. Membrana *M* je vrlo jako napeta, tako da je njezina vlastita frekven-



Sl. 17.

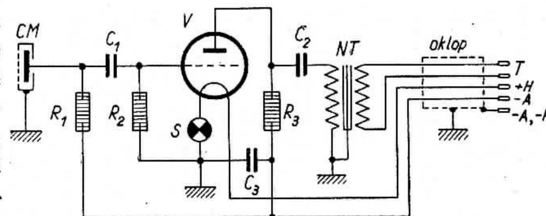
cija vrlo visoka. Membrana M je od protuelektrode G izolirana vanredno tankim (oko 0,02 mm) izolirnim prstenom J. Zračni prostor između membrane M i protuelektrode G mora se dimenzionirati vrlo tačno, kako bi frekventna krivulja mikrofona imala što ravniji tok (vidi odsjek 31). Što je zračni prostor »tanji«, to je kod titranja sila elastičnosti uzdušnog prostora prema sili elastičnosti membrane veća, te membrana može biti slabije napeta. U tom slučaju može vlastita frekvencija membrane biti također unutar frekventnog područja koje treba prenositi. Prema protuelektrodi G ima membrana M pozitivni prednapon od 80 do 100 V, koji dobiva iz baterije B. Ako do membrane dolaze zvučni valovi, membrana titra. Pri tome se mijenja udaljenost membrane od protuelektrode, i to u taktu zvučnih valova. Posve jednako mijenja se i kapacitet koji čini membrana s protuelektrodama. Kad se udaljenost smanjuje (povećanje kapaciteta) teku elektroni na membranu, a kod povećavanja udaljenosti (smanjivanje kapaciteta) elektroni otječu. Tako nastaju struje nabijanja i izbijanja, koje na visokoomskom otporu R uzrokuju odgovarajuće promjene napona. Na krajevima otpora R nastaje dakle izmjenični napon U, koji odgovara zvučnim titrajima. Ovaj napon je ovisan o kapacitetu mikrofona. Što je manja udaljenost membrane od protuelektrode, to veće su promjene kapaciteta, a prema tome i promjene napona na otporu R, do kojih dolazi kad membrana titra.

35. — Na sl. 18. vidimo kompletni kondenzatorski mikrofon. Mikrofonski sistem (gore) smješten je u glavu, koja se može oko horizontalne osi zakrenuti u željeni smjer. Da se membrana zaštiti od prašine i kiše, iznad nje se nalazi fina tkanina, a iznad tkanine se radi zaštite od mehaničkih oštećenja nalazi čvrsta žičana mreža. Glava mikrofona smještena je na gornjem poklopcu metalnog cilindra, u kojem se nalazi jednostepeno pojačalo. U donji dio cilindra ugrađen je signalni relej koji je spojen u seriju sa žarnom niti elektronke pojačala. Ovaj signalni uređaj pokazuje kada je pojačalo ukopčano i mikrofon spreman za rad. Mikrofon mora biti što bliže prvom stupnju pojačala, i to zato da se izbjegnu gubici izmjeničnog napona, da kapacitet vodova ne bude velik i da ne dođe do primanja vanjskih smetnji. Ako kapaciteti vodova prema kapacitetu mikrofonskog sistema nisu dovoljno maleni, tada je vanjski otpor (paralelni spoj visokoomskog otpora R i kapacitivnog otpora mikrofonskog voda!) tako malen, da je izlazni izmjenični napon sasvim nizak.



Sl. 18.

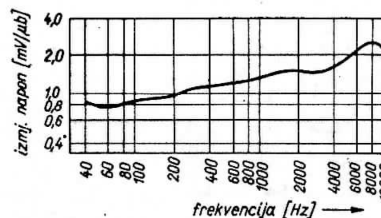
36. — Na sl. 19. vidimo kakav spoj ima pojačalo, koje se nalazi u mikrofonskoj »boci«. Da se izbjegnu udarci napona, ima vanjsko kućište i membrana mikrofonskog sistema CM potencijal zemlje. Protuelektroda preko otpora $R_1 = 60\ M\Omega$ ima pozitivni prednapon od 80 do 100 V. Izmjenični naponi, koji nastaju na otporu R, dovode se preko kondenzatora $C_1 = 1\,000$ pF i odvodnog otpora $R_2 = 30\ M\Omega$ rešetkinom krugu baterijske triode V (na primjer RE 084 specijalna). Visoke vrijednosti otpora R_1 i R_2 potrebne su zato, da i paralelni spoj R_1 i R_2 ima dovoljno veliku vrijednost prema kapacitivnom otporu mikrofonskog sistema (oko 100 pF) kod niskih frekvencija. Kapacitivni otpor kondenzatora C_1 može se ovdje zanemariti. Ako bi R_1 i R_2 bili suviše veliki, tada bi moglo doći do samouzbuđenih relaksacionih titraja u pojačalu. Općenito mora biti vremenska konstanta $T = R_2 \cdot C_1 \leq 0{,}03$, gdje treba uvrstiti R_2 u [Ω], odnosno [MΩ], a C_1 u [F] odnosno [μF]. S razmjerno malenog anodnog otpora $R_3 = 10\ k\Omega$ (povoljno za dobro prenošenje visokih frekvencija) dovodi se pojačani izmjenični napon preko kondenzatora C_2 na niskofrekventni transformator NT (prijenosni odnos 5 : 1 do 6 : 1). Kondenzatorom C_2 sprečava se, da istosmjerna anodna struja (oko 2 mA) elektronke V ne prolazi kroz ulazni namotaj transformatora NT. Kapacitet C_2 je odabran tako, da kod niskih frekvencija (na primjer 50 Hz) dolazi do serijske rezonancije između ovog kapaciteta i induktiviteta primarnog namotaja transformatora. Time se dobiva povišenje naponskog pojačanja kod niskih frekvencija (usporedi dio II, odsjek 93). Kondenzator $C_3 = 0{,}75\ \mu F$ je premosni kondenzator koji sprečava da ne dođe do galvanske reakcije (vidi dio II, odsjeke 74 i 75). S je signalni relej (vidi odsjek 35). Transformatorom NT transformira se efektivni anodni otpor (paralelni spoj otpora R_3 i R_1!) na otpor voda od kojih 200 oma. Zato je moguće da se iza mikrofonskog pojačala priključi mikrofonski vod dug do 200 m. Vodovi koji spajaju mikrofon s baterijama, ne smiju biti duži od 20 do 25 m. Na kraju mikrofonskog voda potrebno je predvidjeti prilagodni transformator s prijenosnim odnosom 1 : 10 do 1 : 20 (vidi odsjek 32). Oklopljeni mikrofonski vod ovdje je četvorožilan. Priključnice T vode k primarnom namotaju ulaznog transformatora, priključak $+H$ k plus-polu baterije za žarenje, priključak $+A$ k plus-polu anodne baterije, a priključak $-A$, $-H$ koji je spojen s metalnim oklopom mikrofonskog voda, k zajedničkom minus-polu žarne i anodne baterije.



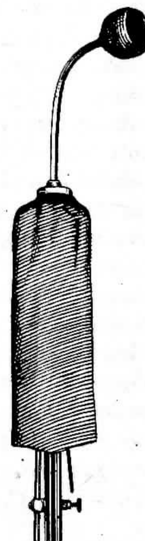
Sl. 19.

37. — Frekventna krivulja opisanog kondenzatorskog mikrofona prikazana je na sl. 20. Upada u oči, da je tok krivulje vrlo povoljan od

najnižih pa do najviših frekvencija (usporedi sl. 10. i 15). Porast osjetljivosti kod visokih frekvencija nije nedostatak, nego štaviše prednost. Time se naime izjednačuje zapostavljanje visokih frekvencija kod većine pojačala i zvučnika kao i veće prigušenje visokih frekvencija kod snimanja zvuka u zatvorenim prostorijama. Izlazni napon iznosi oko 1,2 mV/μb kod frekvencije 800 Hz (na otporu od 200 oma). Konačno na sl. 21. vidimo kondenzatorski mikrofon s »labuđim vratom«. Prilikom postavljanja više kondenzatorskih mikrofona na javnim prijenosima (na primjer iz kazališta, koncertnih dvorana itd.) ovim mikrofonima se ne sakriva govornika i mikrofoni nisu suviše vidljivi. Na sl. 21. vidi se još zaštitna navlaka mikrofona protiv vjetra i kiše.



Sl. 20.



Sl. 21.

Ponavljanje

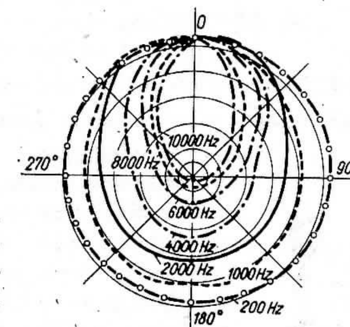
Elektrostatski mikrofoni (kondenzatorski mikrofoni) imaju mikrofonski sistem, koji djeluje kao električki kondenzator. Sistem se sastoji od vrlo tanke metalne ili metalizirane membrane i metalne izrupičane protuelektrode. Uslijed titranja membrane nastaju promjene kapaciteta, koje se na visokoomskom otporu pretvaraju u promjene napona. Mikrofonski sistem dograđen je na »bocu«, u kojoj se nalazi prvi stupanj pojačala. Na ovaj način se izbjegavaju gubici izmjeničnog napona, štetni kapaciteti voda i smetnje od mrežnog tona. Kondenzatorski mikrofoni se grade i s »labuđim vratom«. Ovakvi mikrofoni nisu napadni. Kondenzatorski mikrofon ima naročito izjednačenu frekventnu karakteristiku i obuhvaća cijelo tonfrekventno područje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je građen mikrofonski sistem kondenzatorskog mikrofona? *Odgovor:* Pred metalnom izrupičanom protuelektrodom nalazi se na vanredno malenoj udaljenosti vrlo tanka metalna ili metalizirana membrana. — *P.:* Kako radi takav mikrofonski sistem? *O.:* Mikrofonski sistem je električki kondenzator; zvučni valovi potiču membranu na titranje, uslijed čega dolazi do promjena kapaciteta. Ove se promjene na visokoomskom otporu pretvaraju u promjene napona. — *P.:* Što se događa s ovim promjenama napona? *O.:* Njih se privodi pojačalu. — *P.:* Gdje se nalazi prvi stupanj pojačala? *O.:* Neposredno ispod mikrofonskog sistema u jednoj »boci«. — *P.:* Zašto mikrofonski sistem i pojačalo moraju biti jedan drugom sasvim blizu? *O.:* Da se izbjegnu gubici izmjeničnog napona, štetni kapaciteti voda i smetnje od mrežnog tona. — *P.:* Kako se pozitivni prednapon dovodi mikrofonskom sistemu? *O.:* Preko jednog visokoomskog otpora. — *P.:* Zašto ovaj otpor, kao i odvodni otpor rešetke prvog stupnja pojačala, mora imati vrlo visoku omsku vrijednost? *O.:* Da se mogu dobro prenijeti niske frekvencije. — *P.:* Kako

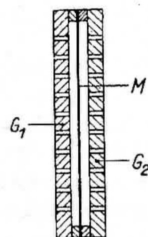
se kondenzatorski mikrofon priključuje na niskofrekventno pojačalo? *O.:* Preko prilagodnog transformatora, kod kojeg je ulazni namotaj prilagođen na otpor voda od 200 oma. — *P.:* Kako se postupa u slučaju gdje bi mikrofonska boca bila napadna, kao na primjer na pozornicama, u koncertnim dvoranama itd. *O.:* Postavljaju se mikrofoni s »labuđim vratom«.

38. — Praktička vrijednost nekog mikrofona ne ovisi samo o njegovoj frekventnoj krivulji nego i o *usmjernoj karakteristici.* Osjetljivost mikrofona je naime ovisna o smjeru upada zvučnih valova. Usmjerna karakteristika se dobije tako, da se s izvorom zvuka stanovite frekvencije obilazi oko mikrofona po kružnici i da se mjeri izmjenični napon, koji daje mikrofon. Kod crtanja dijagrama dobivene tačke se spoje. Ovakvo mjerenje se vrši kod različitih frekvencija. Kod mikrofona prikazanih na sl. 18. i 21. dobivaju se usmjerne karakteristike, kakve vidimo na sl. 22. Za n i s k e frekvencije karakteristike su približno *kružnog* oblika, što znači, da je mikrofon u svim pravcima praktički jednako osjetljiv. Kod v i s o k i h frekvencija dolazi naprotiv do znatnih odstupanja od kružnog oblika. S čeone strane mikrofon je nekoliko puta osjetljiviji nego sa stražnje strane. Zbog toga se usmjerne karakteristike deformiraju i kod porasta frekvencije postaju sve uže elipse. Ova ovisnost usmjernih karakteristika o frekvenciji dolazi odatle, što se zvučni valovi savijaju oko mikrofonskog sistema i na membranu dolaze preko dvaju različito dugih puteva. Takva dva zvučna vala nisu više u fazi. Fazni pomak raste s porastom frekvencije, dok konačno kod faznog pomaka od 180° dolazi do poništavanja djelovanja zvučnih valova na membranu, to jest osjetljivost mikrofona padne na nulu (vidi na primjer usmjernu karakteristiku za 10 000 Hz). Ako je dakle potrebno da takav mikrofon dobro prenosi i visoke frekvencije, moraju zvučni valovi dolaziti do mikrofonskog sistema što više sprijeda. Ako se u mikrofon govori sa strane, dolazi do jakog zapostavljanja visokih frekvencija. Opisana pojava javlja se kod svih *tlačnih mikrofona,* to jest kod mikrofona, koji reagiraju na zvučni tlak, kao što su ugljeni mikrofoni, mikrofoni s vrpcom, mikrofoni s titrajnom zavojnicom i jednostavni kondenzatorski mikrofoni. K r u ž n e usmjerne karakteristike za sve frekvencije dobiju se samo onda, ako je promjer mikrofona malen prema valnoj dužini najvišeg tona koji treba prenijeti. Kod frekvencije $f = 10\,000$ Hz, to jest kod valne dužine $\lambda = c/f = 34\,000/10\,000 = 3{,}4$ cm, promjer mikrofona morao bi dakle biti oko 5 mm. Ovo je zahtjev, koji se u praksi jedva može ostvariti.

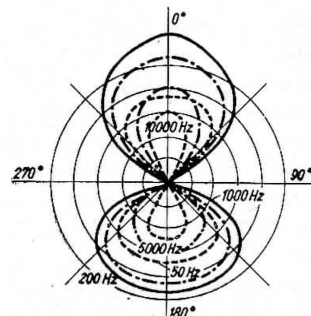


Sl. 22.

39. — Kod daljnjeg razvijanja kondenzatorskih mikrofona išlo se za tim da se dobiju usmjerene karakteristike, koje kod svih frekvencija imaju približno jednak oblik. Tako su nastali kondenzatorski mikrofoni s usmjernom karakteristikom *u obliku osmice (»osmičasti mikrofoni«)*. Kod ovih mikrofona se mikrofonski sistem sastoji od dvije izbušene protuelektrode G_1 i G_2, među kojima se nalazi membrana M (sl. 23). Budući da zvučni valovi mogu do membrane doći s dvije strane, nije za gibanje membrane i za proizvedeni izmjenični napon mjerodavan zvučni tlak, nego r a z l i k a zvučnog tlaka ispred membrane i iza nje. Takvi mikrofoni se zovu *gradijentni mikrofoni* (gradijent = razlika). Zvučni valovi, koji dolaze u smjeru ravnine membrane, ne mogu proizvesti razliku tlaka ispred membrane i iza nje. Mikrofon, dakle, u smjeru ravnine membrane nije osjetljiv i ne daje uopće izmjeničnog napona. Okomito na ravninu membrane osjetljivost je naprotiv s obje strane mikrofona jednako velika. Ovakav mikrofon ima dakle o s m i č a s t u usmjernu karakteristiku, koja je prikazana na sl. 24. Vidimo, da je oblik karakteristike kod svih frekvencija skoro isti. Protuelektrode su većinom spojene u protuspoju. No može se iskoristiti i promjena kapaciteta jedne protuelektrode i membrane. Nadalje na sl. 25. vidimo izgled kondenzatorskog mikrofona s osmičastom usmjernom karakteristikom (usporedi sl. 18). Mikrofonski sistem se nalazi na pomičnom koljenu i to na vrhu boce, kako bi zvučni valovi mogli sa svih strana nesmetano doći do mikrofona. Konačno na sl. 26. vidimo frekventnu krivulju ovog kondenzatorskog mikrofona: ona se odlikuje praktički pravocrtnim tokom.

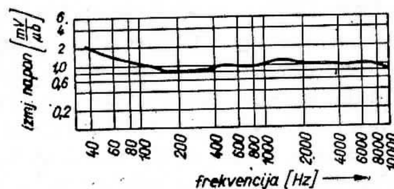


Sl. 23.

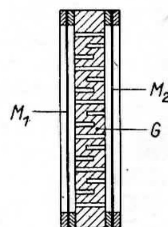


Sl. 24.


Sl. 25.

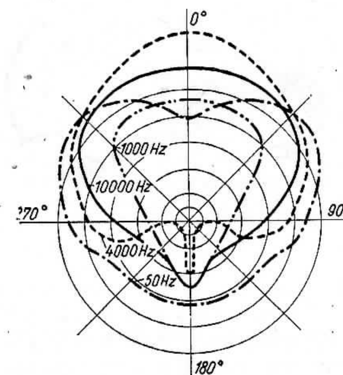


Sl. 26.



Sl. 27.

40. — Jedan od usmjernih mikrofona je također kondenzatorski mikrofon s *bubrežastom usmjernom karakteristikom (»bubrežasti mikrofon«)*. Ovaj mikrofon je kombinacija tlačnog i gradijentnog mikrofona. Mikrofonski sistem čine dvije membrane M_1 i M_2, između kojih se nalazi protuelektroda G (sl. 27). Protuelektroda je izrupičana i to tako, da jedne od rupa prolaze kroz elektrodu, a druge tek djelomično. Na taj način su uzdušni prostori iza obiju membrana međusobno vezani. Električki je priključena samo jedna membrana i protuelektroda, to jest samo jedna membrana je električki aktivna. Na električki aktivnu membranu, kad je ona okrenuta izvoru zvučnih valova, djeluje i zvučni tlak i gradijent zvučnog tlaka (razlika tlaka između prednje i stražnje membrane) u istom smislu. Djelovanje zvučnog tlaka i gradijenta zvučnog tlaka na drugu membranu međusobno se poništava, tako da ova membrana ostaje u mirovanju. Ako se međutim izvor zvuka nalazi s druge strane membrane, koja nije električki aktivna, tada električki aktivna membrana ostaje u mirovanju. Iz ovoga slijedi, da je mikrofon osjetljiv uglavnom samo s jedne strane. Usmjerne karakteristike ovakvog mikrofona imaju oblik bubrega[5] (sl. 28). Frekventna krivulja ovog kondenzatorskog mikrofona je slična onoj na sl. 26. Po vanjskom izgledu mikrofon je jednak kondenzatorskom mikrofonu sa sl. 25.



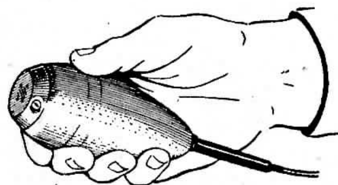
Sl. 28.

41. — Iako je osjetljivost kondenzatorskih mikrofona s osmičastom i bubrežastom usmjernom karakteristikom ovisna o kutu upada zvučnih valova (usporedi sl. 24. i 28), ipak oblik usmjernih karakteristika u cijelom tonfrekventnom području ostaje skoro isti. Zbog toga se s ovim kondenzatorskim mikrofonom mogu znatno bolje prenijeti izvođenja velikog broja muzičara koji su raspoređeni na većem prostoru; no o tome ćemo pobliže govoriti u poglavlju o postavljanju mikrofona. Da se isključe štetni zvukovi i šumovi koji smetaju prijenos, može se iskoristiti zona neosjetljivosti usmjernih mikrofona. Kondenzatorski mikrofon s bubrežastom karakteristikom u neku ruku je univerzalni mikrofon za skoro sve slučajeve koji dolaze u praksi, dok se kondenzatorski mikrofon s osmičastom karakteristikom upotrebljava za naročite svrhe. No također i jednostavni kondenzatorski mikrofon s pretežno eliptičnim usmjernim karakteristikama može se korisno upotrijebiti prilikom takvih prijenosa.

[5] Matematski analizirano ovdje se radi približno o srcolikim krivuljama (kardioidama), koje su kombinacija kružnih i osmičastih usmjernih karakteristika.

gdje dobro dolazi usmjerno djelovanje za visoke frekvencije, na primjer kad jedan govornik govori u slobodnom prostoru ili u jako prigušenim prostorijama.

42. — Na koncu napominjemo da je uspjelo konstruirati kondenzatorski mikrofon, koji praktički nije ovisan ni o frekvenciji ni o smjeru upada zvuka, dakle mikrofon s *kružnim usmjernim karakteristikama*. Ovaj mikrofon ima vrlo male dimenzije, kao što se to vidi na sl. 29. Kako bi se izbjeglo reflektiranje zvuka, dan je mikrofonskom kućištu oblik kaplje. U kućištu se nalazi naročita malena elektronka (MC 1), a paralelno žarnoj niti spojena je signalna svjetiljka, da se vidi kada je mikrofon spreman za pogon. Membrana ovog mikrofona je aluminijska folija koja ima debljinu samo 0,0035 mm, a razmak od protuelektrode iznosi samo 0,008 mm. Frekventna krivulja je u cijelom čujnom području praktički pravocrtna. Izlazni izmjenični napon je iste veličine kao i kod drugih kondenzatorskih mikrofona. Prednapon membrane mikrofona i anodni istosmjerni napon je 30 V, napon za žarenje je 1,8 V, a žarna struja je 0,3 A. Jakost anodne struje je samo 0,5 mA.



Sl. 29.

Ponavljanje

Osjetljivost mikrofona je ovisna o kutu upada i o frekvenciji zvučnih valova. Ovu ovisnost prikazuju *usmjerne karakterisitke* mikrofona. Svi *tlačni* mikrofoni, dakle mikrofoni, kod kojih se rad osniva na djelovanju zvučnog tlaka, zapostavljaju visoke tonske frekvencije, ako se govori sa strane. Usmjerne karakteristike ovih mikrofona su različitog oblika. *Gradijentni* mikrofoni, to jest mikrofoni kod kojih se rad osniva na djelovanju d i f e r e n c i j e (gradijenta) zvučnog tlaka ispred membrane i iza nje, imaju za sve frekvencije *osmičaste* usmjerne karakteristike. Mikrofonski sistem se u ovom slučaju sastoji od dvije izrupičane protuelektrode, među kojima je napeta membrana. Kombinacijom tlačnog i gradijentnog mikrofona nastaje mikrofon koji za sve frekvencije ima *bubrežaste* usmjerne karakteristike. Kod ovog mikrofona ima mikrofonski sistem dvije membrane, između kojih se nalazi protuelektroda. Protuelektroda ima djelomično cijele, a djelomično polovične provrte. Postoje kondenzatorski mikrofoni s naročito malenim dimenzijama. Ovi mikrofoni imaju oblik kaplje, a usmjerne karakteristike su im *kružne:* praktički nisu ovisni o frekvenciji niti su osjetljivi na smjer upada zvuka.

Pitanja i odgovori

Pitanje: O čemu ovisi osjetljivost mikrofona? *Odgovor:* O kutu upada i o frekvenciji zvučnih valova. — *P.*: Kako se može prikazati ovisnost osjetljivosti mikrofona o smjeru upada zvuka? *O.*: Pomoću usmjernih karakteristika. — *P.*: Kod kojih su vrsta mikrofona usmjerne karakteristike najmanje jednolične? *O.*: Kod tlačnih mikrofona. — *P.*: Što je tlačni mikrofon? *O.*: Mikrofon, kod kojeg se rad osniva samo na djelovanju zvučnog tlaka. — *P.*: U čemu se očituje mana ovih mikrofona? *O.*: Kad se govori postrance, dolazi do zapostavljanja visokih frekvencija. — *P.*: Kakve moraju biti usmjerne karakteristike mikrofona, pa da ne bude ovisnosti o frekvenciji? *O.*: One moraju za sve frekvencije imati isti oblik. — *P.*: Kod kojih mikrofona je ovo praktički postignuto? *O.*: Kod gradijentnih mikrofona i kod mikrofona, koji su kombinacija tlačnog i gradijentnog mikrofona. — *P.*: Što su gradijentni mikrofoni? *O.*: Mikrofoni kod kojih se rad osniva na djelovanju razlike zvučnog tlaka ispred membrane i iza nje. — *P.*: Kakav oblik imaju usmjerne karakteristike gradijentnog mikrofona? *O.*: One su osmičaste. — *P.*: Koji mikrofoni imaju bubrežaste usmjerne karakteristike? *O.*: Mikrofoni koji istodobno djeluju i kao tlačni i kao gradijentni mikrofoni. — *P.*: Kakvu prednost imaju kondenzatorski mikrofoni s bubrežastim usmjernim karakteristikama? *O.*: Pomoću njih je moguće prenositi izvođenje većeg broja muzičara. — *P.*: Koji smo mikrofon upoznali, koji nije ovisan o frekvenciji niti je osjetljiv na smjer? *O.*: Kondenzatorski mikrofon s naročito malenim dimenzijama i kružnim usmjernim karakteristikama.

Pitanja

12. Koji su mikrofoni najbolji i gdje se oni upotrebljavaju?
13. Koliko ima osnovnih vrsta kondenzatorskih mikrofona?
14. Koji mikrofoni su najpoznatiji predstavnici tlačnih mikrofona?

Zadaci

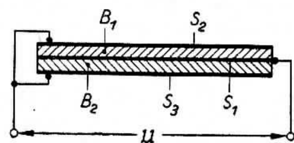
12. Kapacitet mikrofonskog sistema nekog kondenzatorskog mikrofona je 120 pF. a) Koliki je kapacitivni otpor mikrofona kod frekvencije 60 Hz? b) Koliki je najveći kapacitet, koji smije imati kondenzator C_1 u prvom stupnju pojačala na sl. 19, ako odvodni otpor R_2 ima vrijednost 40 MΩ?

Piezoelektrički mikrofoni

43. — Kao posljednju vrst mikrofona upoznat ćemo *piezoelektričke mikrofone (kristalne mikrofone)*. Njihovo se djelovanje osniva na *piezoelektričkom efektu* (vidi dio II, odsjek 372): Ako se neki povoljno rezani kristal tlači ili rasteže, tada na tlačenim plohama kristala nastaju električki naponi. Djeluju li dakle na piezoelektrički kristal zvučni valovi, tada se promjene uzdušnog tlaka pretvaraju u odgovarajuće promjene napona (izmjenične napone). Na istom principu rade također i piezoelektrički zvučnici, slušalice i zvučnice. No kvarcovi i turmalinovi kristali daju vrlo malene izmjenične napone. Zato se upotrebljavaju *kristali Seignetteove soli*[6]), koji daju preko sto puta veće izmjenične napone. Za gradnju piezoelektričkih mikrofona reže se kristal Seignettove soli u tanke listiće, koji imaju debljinu tek dio milimetra. Površina listića je oko 1 cm². Dva takva listića B_1 i B_2 s umetkom staniolne folije S_1 slijepe se zajedno (sl. 30). Na vanjske plohe listića dolaze također staniolni

[6]) Seignettova sol (zvana također Rochelleova sol) je kalijum-natrijum-tartarat $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4 H_2O$.

oblozi S_2 i S_3, koji se spoje zajedno. Savijanje listića uslijed djelovanja zvučnih valova odgovara donekle djelovanju ugrijanog bimetalnog elementa; postiže se veće savijanje nego kod obične deformacije neslijepljenog kristala. Kako bi osjetljivost bila veća, uzimaju se dvije (ili više)

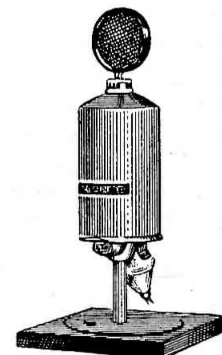


Sl. 30.

Sl. 31.

slijepljene kombinacije, među koje se stavlja izolacioni distantni okvir *R*. te se dobiva kristalna ćelija. Vanjski i unutarnji oblozi, na kojima se kod deformiranja kristala javljaju izmjenični naponi, spoje se onako kako je prikazano na sl. 31. Kod ovakvih mikrofona kristalni listići su ujedno i membrane. Osim ovih, postoje također kristalni mikrofoni, kod kojih zvučni valovi djeluju najprije na dvije vrlo tanke membrane, koje su pomoću finih polužica spojene s kristalnim elementima. Na ovaj način se dobiva naročito velika osjetljivost (10 do 50 mV/μb), tako da nije potrebno posebno pretpojačalo. Međutim jednostavna ćelija daje izmjenični napon koji iznosi samo oko 0,2 do 0,3 mV/μb.

44. — Kapacitet pojedine ćelije iznosi 1 000 do 2 000 pF. Ovo odgovara razmjerno velikom kapacitivnom otporu od 160 do 80 kΩ kod frekvencije 1 000 Hz. Zbog toga se kristalni mikrofon može priključiti direktno na visokoomski ulaz pojačala. Vod između mikrofona i pojačala može biti dug 10 do 15 m. Da se postigne što kvalitetnija reprodukcija, mora mikrofon, kao i kod kondenzatorskog mikrofona, biti što bliže prvom stupnju pojačala (sl. 32). Tada se između mikrofona i glavnog pojačala smiju upotrijebiti vrlo dugi mikrofonski vodovi. Najbolji kristalni mikrofoni imaju slijedeće prednosti: prilično jednoličan tok frekvencija između kojih 30 Hz i 12 000 Hz, nemaju nelinearnih izobličenja, nemaju mikrofonskog šuma kao ni granice osjetljivosti, nije im potreban izvor napona. Budući da su kristali osjetljivi na v l a g u mora se njihova površina zaštititi slojem neke prevlake. Naravno da ni uz takvu zaštitu ne smije mikrofon biti izložen kiši. Zbog osjetljivosti na t o p l i n u, temperatura mikrofona ne smije biti viša od 55° C, dok niže temperature nemaju većeg utjecaja na rad mikrofona. Malene dimenzije ćelija omogućuju da se kristalni mikrofoni mogu izrađivati za nošenje na ruci kao sat. Takvim mikrofonom mogu se vršiti prijenosi zvuka, a da to ne



Sl. 32.

bude zamjetljivo. Nadalje, se u pogonu radiodifuznih stanica upotrebljavaju kristalni mikrofoni, posebno građeni za reportaže, pomoću kojih se može isključiti štetni šum za vrijeme prijenosa.

Ponavljanje

Kod *piezoelektričkih mikrofona (kristalnih mikrofona)* iskorištava se piezoelektrički efekt za pretvaranje zvučne energije u odgovarajuće promjene električnog napona. Kristalni element se sastoji od dva tanka listića kristala Seignettove soli, između kojih se nalazi staniolna folija. Također vanjske plohe obložene su staniolom. Dva ili više ovakvih elemenata čine ćeliju mikrofona. Zbog razmjerno visokog kapacitivnog otpora ćelije, mogu se kristalni mikrofoni preko voda dužine 10 do 15 m priključiti direktno na visokoomski ulaz pojačala. Kristalni mikrofoni moraju biti zaštićeni od prevelike vlage i ugrijavanja. Zbog malenih dimenzija ćelije, mogu se kristalni mikrofoni izrađivati kao m i k r o f o n i - n a r u k v i c e.

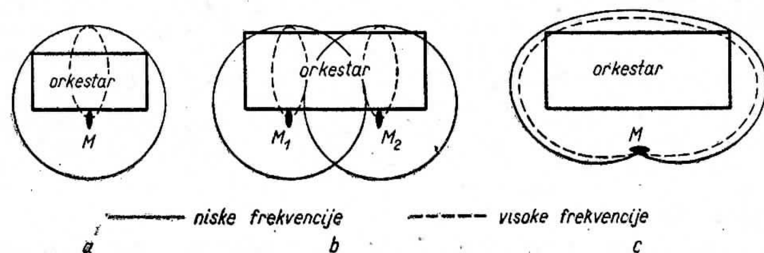
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako radi kristalni mikrofon? *Odgovor:* Promjene uzdužnog tlaka pretvaraju se pomoću piezoelektričkih kristala u odgovarajuće promjene električkog napona. — *P.:* Koji se kristali za ovo upotrebljavaju? *O.:* Kristali Seignettove soli. — *P.:* Kako je građen kristalni element? *O.:* On se sastoji od dva tanka kristalna listića, koji su odijeljeni staniolnom folijom; također vanjske plohe obložene su staniolom. — *P.:* Što je kristalna ćelija? *O.:* Kombinacija dvaju ili više kristalnih elemenata. — *P.:* Koliki izmjenični napon daju najosjetljiviji kristalni mikrofoni? *O.:* Oko 10 do 50 mV/μb. — *P.:* Zašto se kristalni mikrofoni mogu priključiti direktno na pojačalo? *O.:* Zato, što je kapacitivni otpor ćelije razmjerno visok. — *P.:* Koje prednosti imaju najbolji kristalni mikrofoni? *O.:* Dosta jednoličan tok frekvencija između kojih 30 Hz i 12 000 Hz, nemaju nelinearnih izobličenja, bez šuma su i bez granice osjetljivosti, nije im potreban izvor napona. — *P.:* Na što je potrebno paziti kod upotrebe kristalnih mikrofona u praksi? *O.:* Ne smiju biti izloženi prevelikoj vlazi i ugrijavanju.

Postavljanje mikrofona

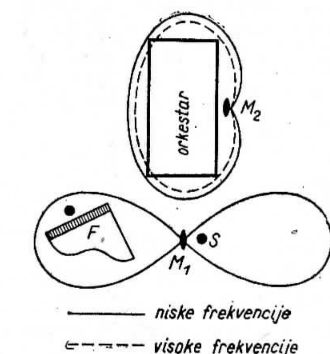
45. — Kod visokokvalitetnog prijenosa zvuka nije dovoljno da se upotrijebe kvalitetni mikrofoni i pojačala, nego je također vrlo važno da se mikrofoni ispravno *postave*. Moramo naime imati na umu, da mikrofon »čuje« drugačije nego naše uho. Naročito u zatvorenim prostorijama prijenosi mikrofonom su nejasniji i sa znatno više odjeka nego kad se sluša direktno. Do ovog dolazi prije svega zbog toga što je usmjereno djelovanje uha veće nego kod običnih mikrofona i što mi suprotno mikrofonu slušamo s dva uha. Osim toga, u zatvorenim prostorijama već u razmjerno malenoj udaljenosti od izvora zvuka prevladava reflektirani zvuk, premda, uho odjek gotovo ne osjeća (vidi odsjek 20). Ako se dakle mikrofon stavi sasvim blizu izvora zvuka, tada se kod prijenosa može izbjeći suviše velika ječnost. Također je zvučna ploha, koju zahvaća mikrofon, malena, zbog čega dolazi do poteškoća kod prijenosa većih

orkestara. Drugačije je, međutim, ako se upotrijebe usmjerni mikrofoni opisani u odsjecima 39. do 41. Tada dobivamo povoljniji odnos između korisnog i štetnog zvuka. Tako se jednim jedinim *bubrežastim* mikrofonom može prenositi i veći orkestar, a da ni jedan instrument ne bude zapostavljen (vidi odsjek 41). Vrijedi općenito pravilo da se sva snimanja zvuka moraju po mogućnosti vršiti samo jednim mikrofonom, jer se tako u najvećoj mjeri približavamo prirodnom utisku izvedbe. Što



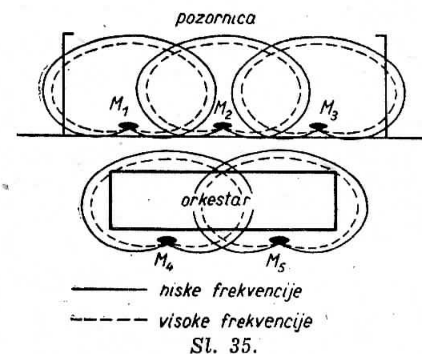
Sl. 33.

se više mikrofona upotrijebi i što su oni na većoj površini raspoređeni, to je neprirodniji ukupni tonski utisak. Ovo će nam razjasniti sl. 33: Ako se za snimanje manjeg orkestra upotrijebi jedan jednostavni kondenzatorski mikrofon *M*, tada se prenosi samo srednja uska zona, u kojoj su stariji mikrofoni zbog svoje usmjerne karakteristike za visoke frekvencije najosjetljiviji (vidi odsjek 22), to jest prenosi se samo stanoviti dio orkestra (sl. 33 *a*). Tako dolazi do isticanja instrumenata koji se nalaze u ovoj zoni, dok su visoke frekvencije onih insturmenata, koji se nalaze izvan ove zone, zapostavljene. Ovo se može donekle ublažiti upotrebom dvaju kondenzatorskih mikrofona M_1 i M_2 (sl. 33. *b*). Poželjna jednoličnost prijenosa može se postići tek postavljanjem b u b r e ž a s t o g mikrofona *M* (sl. 33. *c*). Ovdje vidimo, da se svi instrumenti većeg orkestra mogu prenijeti potpuno jednolično, što daje harmoničnu boju tonova. Događaju se, naravno, i takvi slučajevi, da je potrebno postaviti više bubrežastih mikrofona. No međusobno izjednačenje kod ovih mikrofona je znatno lakše nego kod običnih mikrofona.



Sl. 34.

46. — Ako se radi o istodobnom snimanju pjevača *S*, klavira *F* i orkestra (sl. 34), tada je najbolje da se za pjevača i klavir postavi *osmičasti* mikrofon M_1 (vidi odsjek 39. i sl. 24). Pjevač se nalazi na jednoj, a klavir na suprotnoj strani mikrofona. Kao što se vidi iz sl. 33. c) orkestar se prenosi s bubrežastim mikrofonom M_2. Ako je potrebna diskretna pratnja orkestra, tada se izostavi bubrežasti mikrofon i orkestar ostaje u neosjetljivoj zoni osmičastog mikrofona. Nekada se je nailazilo na velike poteškoće prilikom prijenosa s p o z o r n i c a (opera, kazališta itd.), jer se ovdje mikrofoni ne mogu postaviti dovoljno blizu glumcu, a glumac još osim toga mijenja udaljenost od mikrofona. K tome se još postavlja zahtjev da orkestar ne nadglasa govor i pjevanje glumca. U takvom slučaju se na pozornicu postave na primjer tri bubrežasta mikrofona M_1, M_2 i M_3, koji su svojom neosjetljivom stranom okrenuti prema orkestru (sl. 35). Prenošenje orkestra vrši se sa dva bubrežasta mikrofona M_4 i M_5. Uz ovakvu postavu moguće je jakost glasa glumaca i orkestra po volji regulirati i jednu drugoj prilagođivati. U mnogim slučajevima dobili su se dobri rezultati o s m i č a s t i m mikrofonom, koji je bio ovješen ispred pozornice i usmjeren prema glumcima.



Sl. 35.

47. — Daljnja prednost b u b r e ž a s t i h mikrofona je u tome, što se pomoću njih mogu u velikoj mjeri potisnuti štetni šumovi, koji smetaju kod prijenosa iz bučnih prostorija (gostionice, plesni lokali itd.). U takvim slučajevima se bubrežasti mikrofon postavi tako, da se osjetljiva strana okrene orkestru, a neosjetljiva prostoriji (vidi odsjek 41). Kod prenošenja dijaloga upotrebljava se o s m i č a s t i mikrofon (slično kao na sl. 34, dolje). Oba se solista mogu tada kod govora i pjevanja vidjeti i ne smetaju se međusobno gibanjem i gestama. Već iz ovih nekoliko primjera se vidi, kako se je moderno snimanje zvuka usavršilo razvitkom usmjernih mikrofona. Čak i najkompliciraniji prijenosi zvuka mogu se danas izvršiti u svakom pogledu besprijekorno.

Ponavljanje

Kod kvalitetnog prijenosa zvuka od velike je važnosti p o s t a v l j a n j e mikrofona. Bubrežastim mikrofonima može se prenijeti veliki orkestar a da ne dođe do zapostavljanja bilo kojeg instrumenta. Također i za prijenose iz kazališta većinom se upotrebljavaju bubrežasti mikrofoni. Za dijaloge i pjevače s klavirskom pratnjom prikladni su osmičasti mikrofoni.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Na što treba naročito paziti kod postavljanja mikrofona? *Odgovor:* Mikrofon mora cijelu zvučnu plohu zahvatiti po mogućnosti jednolično. — *P.:* Kojim mikrofonima se ovo može najbolje postići?

O.: Bubrežastim mikrofonima. — P.: Kako se postavljaju mikrofoni kod prijenosa opere? O.: Na pozornicu se postave na primjer tri, a u orkestru dva bubrežasta mikrofona. — P.: Za koji slučaj su naročito prikladni osmičasti mikrofoni? O.: Za prijenos dijaloga i pjevanja uz klavirsku pratnju. — P.: Kako se mora postaviti bubrežasti mikrofon, da se u što većoj mjeri oslabe štetni šumovi? O.: Neosjetljiva strana mikrofona mora se okrenuti prema prostoriji.

Pitanja

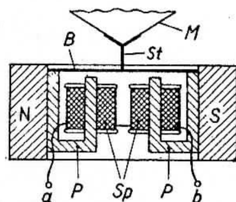
15. Koje smo vrste mikrofona upoznali?
16. Kod kojih mikrofona nije potreban izvor napona?

Zadaci

13. Odnos korisnog napona prema naponu smetnji kod nekog dobrog kondenzatorskog mikrofona uz zvučni tlak od 1 μb iznosi oko 50 dB? Kolika mora biti osjetljivost mikrofona, ako je napon smetnji kod prve elektronke pojačala 6 μV?

Elektromagnetski zvučnik

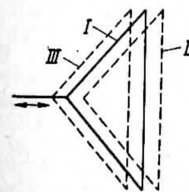
48. — *Zvučnik* kao posljednji član elektroakustičkog uređaja ima zadatak, da električke titraje pretvori u akustičke titraje (zvučne titraje). U osnovi zvučnik se sastoji od električkog, odnosno magnetskog *pogonskog sistema* i *membrane* koja emitira zvuk. Zvučnik se nalazi bilo *u kućištu*, koje ima pogodan oblik, ili na velikoj *ozvučnoj ploči*. Prema vrsti pogonskog sistema razlikujemo elektromagnetske, elektrodinamičke, elektrostatske i piezoelektričke zvučnike. Najprije ćemo se upoznati s *elektromagnetskim zvučnicima*. Način rada i konstrukcija elektromagnetskog zvučnika u principu odgovara slušalici (telefonu), to jest i ovdje se električka energija pretvara u magnetsku, a na koncu magnetska u mehaničku, odnosno akustičku energiju. Na sl. 36. vidimo osnovnu konstrukciju jednostavnog elektromagnetskog sistema. Na polnim nastavcima *P* potkovastog permanentnog magneta *N—S* nalaze se dvije u seriju spojene zavojnice *Sp*. Ispred polnih nastavaka smještena je tanka i uska željezna pločica *B*, nazvana k o t v a. U stanju mirovanja pločicu *B* privlače polni nastavci *P*, te je ona prema dolje malo savijena (»magnetsko predopterećenje«). Ako preko priključnica *a—b* i kroz zavojnice *Sp* teče niskofrekventna izmjenična struja, koju dobavlja neko pojačalo, tada se jakost magnetskog polja potkovastog magneta, već prema momentanom smjeru niskofrekventne struje i zavojnici, izmjenično pojačava i slabi. Polni nastavci *P* su od m e k o g željeza, jer samo ono može prilično tačno slijediti brze promjene jakosti magnetskog polja, koje proizvodi zavojnica *Sp*. Uslijed promjenljivog privlačenja izvodi pločica *B* odgovarajuće mehaničke ti-



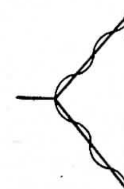
Sl. 36.

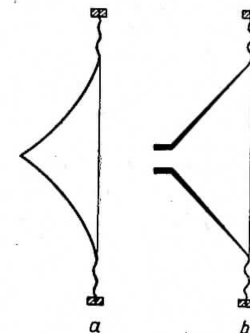
traje, koji se preko polužice *St* ili preko polužnog sistema prenose na veliku membranu *M*. Titranje membrane *M*, koja se na primjer može izvesti kao lijevak od papira, uzrokuje zgušćenja i razrjeđenja uzduha, dakle zvučne titraje.

49. — Membrana *M* mora s obzirom na što veći akustički stupanj djelovanja imati v e l i k u p o v r š i n u, a s obzirom na što bolju frekventnu karakteristiku m a l e n u m a s u i v e l i k u k r u t o s t. Ovo su zahtjevi koji su djelomično protivurječni i mogu se ispuniti tek približno. U početku se kao najpovoljnija pokazala k r u t a m e m b r a n a u obliku lijevka od tlačene ljepenke, uljnog papira ili lijevane papirne mase (veća krutost! sl. 37). Kod niskih i srednjih frekvencija ova membrana titra uglavnom kao s t a p. *I* prikazuje položaj mirovanja, dok *II* i *III* prikazuju krajnje položaje membrane. Kod visokih tonskih frekvencija proizvodi stožasta membrana harmoničke titraje (sl. 38), koji su vrlo štetni, jer kvare reprodukciju. Membrana se, naime, u ovom frekventnom području ne može više smatrati krutom, te ona titra posebnim titrajima, tako da se mogu čuti neugodne brojne vlastite frekvencije (rezonantni titraji). Stoga treba nastojati da membrana ima što nižu vlastitu frekvenciju. Spomenuti nedostaci mogu se u velikoj mjeri otkloniti upotrebom takozvane »d i š u ć e« membrane. Tako na primjer *nawi-membrana* (od njemačkog *n*icht *a*b*wi*ckelbare Membran) ima oblik stošca sa zakrivljenim plaštem, dakle takvim, koji se ne da razviti u ravnu plohu (sl. 39*a*). Daljnji primjer je membrana za elektrodinamički zvučnik, koja ima *klinasti presjek* (sl. 39*b*). Ove membrane imaju sasvim meke rubove (rubovi imaju oblik brazda!), i kod njih ne dolazi do štetnih harmoničkih titraja, zbog čega one jednolično emitiraju sve važne tonske frekvencije. Osim toga je akustički stupanj djelovanja veći nego kod krutih membrana.



Sl. 37.


Sl. 38.



Sl. 39.

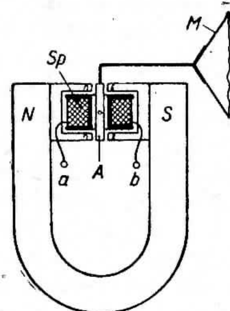
Ponavljanje

Zvučnik se sastoji od električkog odnosno magnetskog pogonskog sistema, membrane i kutije, odnosno ozvučne ploče. *U elektromagnetskom zvučniku*, koji u principu djeluje kao slušalica, pretvara se električka energija u magnetsku, a ova u mehaničku energiju. Jednostavni elek-

tromagnetski zvučnici imaju manu da im je kotva magnetski predopterećena. Membrana zvučnika mora imati veliku plohu, malenu masu i veliku krutost, i mora u što većoj mjeri titrati kao stap. K r u t e membrane kod visokih frekvencija naginju tome da proizvode nepoželjne nadtitraje. Povoljnije rade »d i š u ć e« membrane, kao na primjer *nawi*-membrana, koja ima oblik stošca sa zakrivljenim plaštem, i membrane s k l i n a s t i m p r e s j e k o m. Ove membrane jednoliko emitiraju sve važne tonske frekvencije i imaju razmjerno dobar stupanj djelovanja.

Pitanja i odgovori

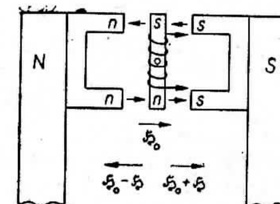
Pitanje: Koji su bitni sastavni dijelovi zvučnika? *Odgovor:* Pogonski sistem, membrana i kutija ili ozvučna ploča. — *P.:* Do kakve pretvorbe energije dolazi u elektromagnetskom zvučniku? *O.:* Električka energija se pretvara u magnetsku, a ova u akustičku. — *P.* Kako u principu radi elektromagnetski zvučnik? *O.:* Promjene jakosti polja, koje uzrokuje izmjenična struja, protičući kroz zavojnicu, pojačavaju i slabe magnetsko polje permanentnog magneta. Tako dolazi do mehaničkog titranja željezne pločice, koja se nalazi ispred polova permanentnog magneta. Titraji pločice prenose se preko poluge na membranu. — *P.:* Kakav nedostatak ima ovakav zvučnik? *O.:* Željezna pločica (kotva) je magnetski predopterećena. — *P.:* Kakva svojstva mora imati membrana zvučnika? *O.:* Veliku plohu, malenu masu i veliku krutost. — *P.:* U principu kakve dvije vrste membrana razlikujemo? *O.:* Krutu i »dišuću« membranu. — *P.:* Koju manu imaju krute membrane? *O.:* Kod visokih frekvencija one više ne titraju kao stap, nego proizvode nepoželjne nadtitraje. — *P.:* Kako se ovo može kod »dišućih« membrana izbjeći? *O.:* Posebnim oblikom i ispravnim, mekim učvršćenjem membrane. — *P.:* Koji oblici membrana su naročito pogodni? *O.:* Zakrivljena stožasta membrana (nawi-membrana) i membrana s klinastim presjekom.



Sl. 40.

50. — Budući da je sila, koju prenosi kotva elektromagnetskog zvučnika, razmjerna k v a d r a t u jakosti magnetskog polja *(H)*, to sila, koja se prenosi na membranu, nije razmjerna promjeni jakosti magnetskog polja. Iz toga slijedi da mora doći do nelinearnih izobličenja, i to razmjerno visokog stupnja. Iste posljedice ima jednostrano magnetsko predopterećenje kotve (vidi odsjek 48). Kod *rasterećenog četvoropolnog* sistema dolazi do ovoga tek u neznatnoj mjeri. Kao što se vidi iz primjera na sl. 40, kotva *A* u obliku štapa, smještena među polove *n*—*n* i *s*—*s* potkovastog magneta *N*—*S*, može se gibati oko svoje srednje tačke. Kod ove konstrukcije magnetsko polje djeluje istodobno i simetrično na obje strane kotve. U stanju mirovanja, kada dakle, kroz zavojnicu *Sp* koja obuhvata kotvu *A* ne teče struja, tada na gornji kraj kotve, i to od pola *n* nalijevo i od pola *s* nadesno, djeluje jednako jaka sila. Isto vrijedi i za donji kraj kotve. Prema tome, u stanju mirovanja ne djeluje na kotvu nikakva sila, to jest kotva

nije predopterećena. Zbog toga također i p o v r a t n a s i l a kotve, to jest sila koja kotvu vraća u položaj mirovanja, može biti vrlo malena. Ovo je povoljno za reprodukciju dubokih tonova. Povratnu silu proizvodi opruga koja na sl. 40. nije nacrtana. Teče li preko priključnica *a*—*b* i kroz zavojnicu *Sp* izmjenična struja, tada se magnetsko polje magneta *N*—*S* izmjenično pojačava i slabi. Ako kroz zavojnicu u nekom momentu teče struja, na primjer u smjeru koji je naznačen na sl. 41, tada se po poznatim pravilima elektrotehnike na gornjem kraju kotve stvara južni pol *s*, a na donjem kraju sjeverni pol *n*. Uslijed međusobnog privlačenja, odnosno odbijanja magnetskih polova, gornji se kraj kotve i pol *n* privlače, a isti kraj kotve i pol *s* odbijaju. Prema tome se sila koja kotvu vuče nalijevo. pojačava, a ona koja je vuče nadesno, slabi. Na donjem kraju kotve je upravo obrnuto. Tonfrekventna izmjenična struja, koja teče kroz zavojnicu, vrši neprestano premagnetiziranje kotve. Tako kotva titra u taktu tonske frekvencije. Ovi se titraji preko poluge prenose na membranu *M*.

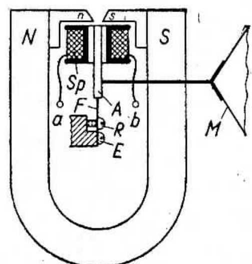


Sl. 41.

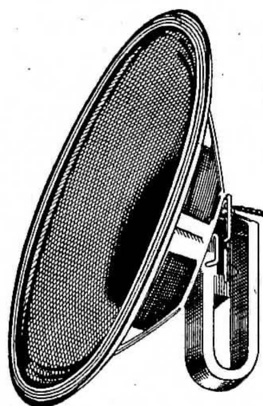
51. — Zbog simetričnog rada četvoropolnog sistema ne dolazi do nelinearnih izobličenja. To će nam pokazati slijedeće razmatranje: Vlada li u stanju mirovanja između donjeg pola *s* i donjeg kraja kotve (vidi sl. 41) polje $\mathfrak{H}_0$, koje proizvodi magnet *N*—*S*, tada je sila koja djeluje na ovaj kraj kotve, razmjerna kvadratu jakosti polja $\mathfrak{H}_0^2$ (vidi odsjek 50). Ako se jakost magnetskog polja $\mathfrak{H}_0$ djelovanjem struje, koja teče kroz zavojnicu, povisi na vrijednost $\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{H}$, tada je sila koja donji kraj kotve vuče na desno, razmjerna jakosti polja $(\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{H})^2 = \mathfrak{H}_0^2 + 2\mathfrak{H}_0 \mathfrak{H} + \mathfrak{H}^2$ Budući da je $\mathfrak{H}_0$ nepromjenljivo, to je sila koja pokreće kotvu i membranu, ovisna o jakosti polja $2\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{H}^2$. No zbog $\mathfrak{H}^2$ nastaju nelinearna izobličenja. Kod četvoropolnog sistema do nelinearnih izobličenja praktički uopće ne dolazi. Dok, naime, polje $\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{H}$ vuče donji kraj kotve nadesno, istodobno isti kraj kotve vuče polje $\mathfrak{H}_0 - \mathfrak{H}$ nalijevo. Ukupna sila, koja djeluje na donji kraj kotve, razmjerna je, dakle, jakosti polja $(\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{H})^2 - (\mathfrak{H}_0 - \mathfrak{H})^2 = 4\mathfrak{H}_0 \mathfrak{H}$, to jest jakosti polja $\mathfrak{H}$, odnosno jakosti izmjenične struje $\mathfrak{J}$, koja teče kroz zavojnicu, a ne više kvadratu jakosti polja. Slično vrijedi i za gornji kraj kotve. Nelinearna izobličenja mogu nastati još i zbog toga, što sila koja djeluje na kotvu ovisi o kvadratu udaljenosti kotve od pola. No dok amplitude kotve nisu suviše velike (malena glasnoća!) radi četvoropolni sistem bez nelinearnih izobličenja. Preduvjet za ovo je, da anodna struja izlazne elektronke prijemnika ili pojačala ne teče kroz zavojnicu četvoropolnog sistema (upotreba izlaznog transformatora; vidi dio II, odsjek 127). Inače dolazi do predmagnetiziranja istosmjernom strujom, što uzrokuje nesimetriju i izobličenje.

52. — Najmanja nelinearna izobličenja nastaju kod *sistema sa slobodnim titranjem,* koji je upotrijebljen u pučkom prijemniku opisanom u

dijelu II, odsjecima 186. i 189. Kod ovoga kotva *A*, oko koje se nalazi zavojnica *Sp*, ne titra više između polova, nego ispred polova *n—s* potkovastog magneta *N—S* (sl. 42). U stanju mirovanja ne djeluje na kotvu kao ni kod četvoropolnog sistema nikakva sila. Protiče li kroz zavojnicu *Sp* struja, tada se kotva na poznati način giblje. U ovom slučaju, protivno dosad opisanim sistemima zvučnika, ne vraća kotvu *A* u položaj mirovanja sila opruge, nego m a g n e t s k e sile. Prema tome, može sila, koju kotva prima od opruge *F*, biti vanredno malena. Radi ovog praktički savršenog odterećenja kotve dobiva se vrlo dobra kvaliteta reprodukcije (uspoređi odsjek 50). Opruga kotve učvršćena je vijkom E, dok se vijkom za regulaciju *R* vrši namještanje kotve (centriranje). Titraji kotve prenose se na membranu *M* preko jedne poluge. Kako kotva titra ispred polova, ne postoji opasnost da će kod glasne reprodukcije kotva udarati o polove. Prema tome kod zvučnika sa slobodnim titranjem kotva može titrati s velikim amplitudama, a da ne dođe do izobličenja. Nadalje je moguće, da se uzdušni raspor između kotve i polova učini vrlo malenim (oko 0,05 mm). To ovom zvučniku daje veliku osjetljivost i postiže se dobar stupanj djelovanja. Zvučnik s ovim sistemom je prema tome najbolja vrsta elektromagnetskih zvučnika. Na sl. 43. vidi se vanjski izgled jednog zvučnika sa slobodnim titranjem. Jasno se vidi u košaru smještena nawi-membrana (vidi odsjek 49) s brazdama na rubu. Na košaru je pričvršćen potkovasti magnet s pogonskim sistemom.



Sl. 42.


Sl. 43.

Ponavljanje

Kod *četvoropolnog sistema* bez predopterećenja magnetsko polje permanentnog magneta djeluje istodobno i simetrično na obje strane kotve. U stanju mirovanja ne djeluje na kotvu nikakva sila. Time se mogu kod jednostavnih sistema nelinearna izobličenja praktički skoro posve izbjeći. Četvoropolni sistem mora se na izlazni stupanj prijemnika ili pojačala priključiti tako, da kroz njega ne teče istosmjerna struja. Najmanja nelineanarna izobličenja nastaju kod *sistema sa slobodnim titranjem*, kod kojeg kotva titra **i s p r e d** polova permanentnog magneta. Kod sistema sa slobodnim titranjem potrebna je također vrlo malena povratna sila za kotvu. Ovaj sistem odlikuje se dobrim stupnjem djelovanja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je građen četvoropolni sistem, kod kojeg nema predopterećenja? *Odgovor:* Između polova permanentnog magneta nalazi se kotva koja titra oko svog središta. Kotva se nalazi u zavojnici. — *P.:* Kakve prednosti ima ova konstrukcija? *O.:* Magnetsko polje djeluje na kotvu simetrično. U stanju mirovanja ne djeluje na kotvu nikakva sila. — *P.:* Kakva je korist od toga što kotva nije predopterećena? *O.:* Nelinearna izobličenja mogu se izbjeći u velikoj mjeri i povratna sila kotve može biti vrlo malena. — *P.:* Na što treba paziti kod priključivanja četvoropolnog sistema? *O.:* Kroz sistem ne smije teći istosmjerna anodna struja. — *P.:* Kako se ovo može postići? *O.:* Pomoću izlaznog transformatora ili električke skretnice. — *P.:* Kakvu naročitu karakteristiku ima sistem sa slobodnim titranjem? *O.:* Kotva ne titra između polova, nego ispred polova permanentnog magneta. — *P.:* Što se ovim postiže. *O.:* Naročito malena nelinearna izobličenja također i kod glasnije reprodukcije, zatim vrlo malena povratna sila kotve i dobar stupanj djelovanja.

Pitanja

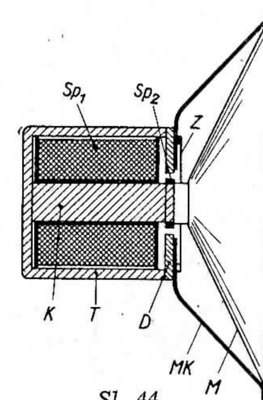
17. Kada govorimo o magnetskom predopterećenju nekog sistema?
18. U čemu se u principu razlikuje četvoropolni sistem od sistema sa slobodnim titranjem?

Zadaci

14. Kakvo magnetsko polje djeluje na gornji kraj kotve četvoropolnog sistema, koji je prikazan na sl. 41? Nacrtaj strelice koje prikazuju jakost polja.

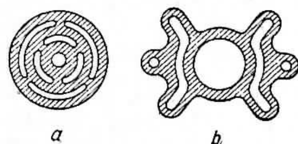
Elektrodinamički zvučnik

53. — Kvalitetni prijemnici i pojačala, kao i veliki razglasni uređaji, rade danas isključivo s *elektrodinamičkim zvučnicima*. Kod ovih zvučnika reprodukcija je i kod najvećih glasnoća bez izobličenja. Elektrodinamički zvučnik djeluje obrnuto elektrodinamičkom mikrofonu (vidi odsjek 31). U polju jakog magneta nalazi se titrajna zavojnica kroz koju teče tonfrekventna izmjenična struja. Uslijed izmjeničnog polja, koje proizvodi titrajna zavojnica, magnet izmjenično privlači i odbija titrajnu zavojnicu, te ona titra u taktu tonske frekvencije. Titraji se prenose na membranu i emitiraju kao titraji zvuka. Dolazi dakle do pretvaranja električke energije u akustičku. Kao što se vidi iz sl. 44, elektrodinamički zvučnik se sastoji od lončastog ž e l j e z n o g k u ć i š t a (magnetskog lonca) *T*, koji u sredini ima cilindričnu ž e l j e z n u j e z g r u *K*. Oko jezgre nalazi se u z b u d n a z a v o j n i c a Sp_1, kroz koju teče istosmjerna struja. Magnetski sistem, koji se sastoji od dijelova *T*, *K* i Sp_1, zatvoren je prstenastim ž e l j e z n i m p o k l o p c e m *D*. Između željezne jezgre *K* i poklopca *D* nalazi se t i t r a j n a z a v o j n i c a Sp_2,



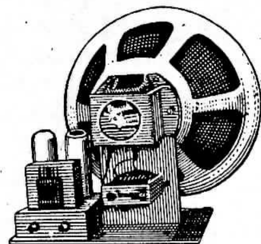
Sl. 44.

koja je spojena s pojačalom. Titrajna zavojnica je namotana na cilindrični nastavak m e m b r a n e M (vidi sl. 39b). Ona se može u z r a č n o m r a s p o r u između poklopca i jezgre gibati u smjeru osi jezgre. Membrana M pričvršćena je na košaru MK, koja je u čvrstoj vezi s loncem T (vidi odsjek 49). Titrajna zavojnica mora se pomoću c e n t r a t o r a Z u zračnom rasporu tačno namjestiti (centrirati), da ne dođe do trenja o poklopac T ili o jezgru K. Dok se je prije upotrebljavao u n u t a r n j i c e n t r a t o r, koji se je pričvršćivao na jezgru K (sl. 45a), danas se upotrebljava v a n j s k i c e n t r a t o r (sl. 45b). Vanjskim centriranjem ne dobiva se samo veća pogonska sigurnost (i lakše ugrađivanje titrajne zavojnice) nego su i nelinearna izobličenja manja nego kod unutarnjeg centriranja. Elektrodinamički zvučnici se odlikuju razmjerno dobrim stupnjem djelovanja i visokom kvalitetom reprodukcije. Njihova glavna prednost je u tome, što se gibanje titrajne zavojnice prenosi na membranu direktno, dakle bez polužnog prijenosa. Povratna sila centratora, koja membranu vraća u položaj mirovanja, može biti vrlo malena, jer u stanju mirovanja ne djeluje na titrajnu zavojnicu nikakva sila. Kako se titrajna zavojnica giblje u homogenom magnetskom polju, to sila koja se prenosi na titrajnu zavojnicu, ovisi samo o jakosti struje, a ne o momentanom položaju zavojnice. Tako su nelinearna izobličenja izbjegnuta bez primjene posebnih sredstava.



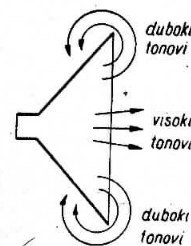
Sl. 45.

54. — Kako se impedancija titrajne zavojnice mora prilagoditi unutarnjem otporu izlazne elektronke (vidi dio II, odsjeke 126 do 128), to bi ova impedancija morala imati vrijednost od nekoliko kilooma. To znači, da bi titrajna zavojnica morala imati mnogo zavoja vrlo tanke žice, što bi izazvalo konstruktivne poteškoće. Zbog toga, i zbog zahtjeva da induktivitet bude što manji, izvodi se titrajna zavojnica većinom kao n i s k o o m s k a (ispod 10 oma). Tada je dovoljno da se namota malo zavoja. Titrajna zavojnica niskoomskog zvučnika mora se na izlazni stupanj pojačala priključiti preko odgovarajućeg izlaznog transformatora, da se malena impedancija titrajne zavojnice prilagodi mnogo većem otporu elektronke (vidi također dio II, odsjek 131). Na sl. 46. prikazan je elektrodinamički zvučnik za priključak na mrežu izmjenične struje. Lijevo se vidi mrežni transformator, ispravljačica i elektrolitski kondenzator ispravljača, koji proizvodi istosmjernu struju za uzbuđivanje magneta. Spoj ispravljača odgovara poznatom dvotaktnom spoju iz dijela II, odsjek 12. Nadalje u sredini vidimo magnetski lonac s košarom za membranu (promjer oko 260 mm), a dolje izlazni transformator za prilagođivanje titrajne zavojnice.

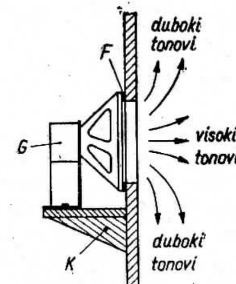


Sl. 46.

55. — Kad bismo sâm elektrodinamički zvučnik priključili na pojačalo, iznenadila bi nas »prazna« reprodukcija muzike i govora; duboki tonovi gotovo se uopće ne bi čuli. Promjene uzdušnog tlaka koje proizvodi membrana, ne postoje samo na prednjoj strani, nego i na stražnjoj strani membrane. Ako na primjer ispred membrane dođe do zgušćenja uzduha, tada na stražnoj strani nastaje razrjeđenje, i uzduh nastoji da se ove razlike tlaka izjednače. Uzduh zaobilazi rub membrane i struji prema stražnjoj strani, dakle u prostor s nižim uzdušnim tlakom (»savijanje« zvučnih valova). Ove pojave, koje se naročito jako mogu zapaziti kod dubokih tonova (sl. 47), u velikoj mjeri koče titranje membrane i uzrokuju vrtloge i interferenciju. Tada govorimo o *akustičkom kratkom spoju*. Da ne dođe do zapostavljanja dubokih tonova, pričvršćuje se zvučnik na *ozvučnu ploču*. Time se odjeljuju prostori ispred membrane i iza nje. Ozvučna ploča treba da bude od materijala koji je zvučno pasivan (na primjer šperno drvo debljine 15 do 20 mm), kako i ona ne bi sudjelovala u titranju. Inače nastaju nepoželjni rezonantni titraji ploče, koji kvare reprodukciju. Do poželjnog djelovanja ozvučne ploče može doći samo onda, ako je dužina brida, odnosno promjer ploče d, jednak barem četvrtini valne dužine λ najnižeg tona, koji treba prenijeti: $d \geq \lambda_t/4$. Stavimo li ovdje da je frekvencija $f_t = c/\lambda_t$, tada dobivamo uvjet: $d \geq c/4f_t$, jer je $c = 340$ m/s brzina zvuka. Ako je na primjer najniža frekvencija $f_t = 50$ Hz, mora ozvučna ploča imati dužinu brida $d =$ $= 340/200 = 1{,}7$ m! Najviše se upotrebljavaju ozvučne ploče, koje imaju površinu 1 m $\times$ 1 m. U ovom slučaju najniža frekvencija je $f_t =$ $= 340/4 \cdot 1 = 85$ Hz. Za k u ć n i z v u č n i k dovoljno je da ozvučna ploča ima veličinu 0,8 $\times$ 0,8 m, a za v e l i k e z v u č n i k e 1,2 m $\times$ $\times$ 1,2 m. Teški zvučnik G pričvršćuje se na ozvučnu ploču S pomoću konzole K (sl. 48). Između košare za membranu i ozvučne ploče umeće se pusteni prsten F.



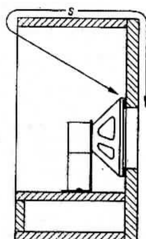
Sl. 47.



Sl. 48.

56. — Ako se zbog pomanjkanja prostora ili zbog kakvih drugih razloga ne može upotrijebiti ozvučna ploča, tada se zvučnik smješta u kutiju od drveta ili kojeg drugog materijala. Ovdje se zapravo radi također o ozvučnoj ploči, samo je ona na sve četiri strane pravokutno

savijena (sl. 49). Dužina puta *s* ne smije biti manja od kojih 600 mm, da duboki tonovi ne bi bili suviše zapostavljeni. Prednja ploča treba da ima debljinu barem 15 mm, a bočne ploče barem 10 mm. Kako bi se i stražnji zvučni valovi mogli nesmetano širiti, stražnja strana kutije je otvorena (napeta tkanina!) ili ima poklopac s velikim rupama. Kutija ni u kojem slučaju ne smije biti potpuno zatvorena, jer bi došlo do rezonantnih pojava u zatvorenom uzduhu, što bi reprodukciji dalo »tupi« ton (»podrumski ton«). Uvijek je povoljnije da kutija zvučnika ima veće dimenzije po visini i širini, nego u dubinu.



Sl. 49.

Ponavljanje

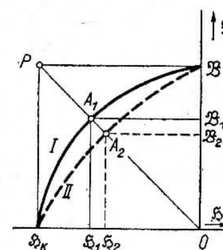
Kod *elektrodinamičkog zvučnika* u jakom magnetskom polju titra zavojnica, kroz koju protječe tonfrekventna izmjenična struja. Titrajna zavojnica je čvrsto vezana s membranom. U zračnom rasporu magneta titrajnu zavojnicu drži u pravom položaju centrator. V a n j s k i centratori su bolji nego u n u t a r n j i. Elektrodinamički zvučnici imaju skoro uvijek n i s k o o m s k e titrajne zavojnice, koje se preko izlaznog transformatora priključuju na izlazni stupanj pojačala. Da se izbjegne *akustički kratki spoj*, uslijed kojeg dolazi do slabljenja dubokih tonova, mora elektrodinamički zvučnik imati dovoljno veliku *ozvučnu ploču*. Promjer ozvučne ploče treba da je jednak barem četvrtini valne dužine najnižeg tona koji treba prenijeti. Zvučnik se može smjestiti i u k u t i j u odgovarajućih dimenzija.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako radi elektrodinamički zvučnik? *Odgovor:* U polju jakog magneta nalazi se titrajna zavojnica, kroz koju teče tonfrekventna izmjenična struja. Titraji zavojnice prenose se direktno na membranu. — *P.:* Koje dvije vrste zavojnica postoje kod stranouzbuđivanog elektrodinamičkog zvučnika? *O.:* Uzbudna zavojnica i titrajna zavojnica. — *P.:* Čemu služi uzbudna zavojnica i kakva struja kroz nju teče? *O.:* Za proizvođenje jakog magnetskog polja; kroz uzbudnu zavojnicu teče uzbudna struja. — *P.:* Što titrajnu zavojnicu drži u ispravnom položaju? *O.:* Centrator, i to najbolje vanjski centrator. — *P.:* Zašto su titrajne zavojnice kod većine elektrodinamičkih zvučnika niskoomske? *O.:* Da se izbjegnu konstruktivne poteškoće, do kojih bi kod visokoomske zavojnice došlo zbog velikog broja zavoja i malene debljine žice, te da se postigne malen induktivitet zavojnice. — *P.:* Što razumijevamo pod akustičkim kratkim spojem? *O.:* Pojavu, da zvučni titraji, naročito kod dubokih tonova, zaobilaze rub membrane i time zvuk znatno slabe. — *P.:* Kako se ovo može izbjeći? *O.:* Dovoljno velikom ozvučnom pločom. — *P.:* Kakvi zahtjevi se stavljaju na ozvučnu ploču? *O.:* Ozvučna ploča mora biti od materijala, koji je zvučno pasivan i treba da ima promjer, koji je jednak otprilike četvrtini valne dužine najnižeg tona, koji treba prenijeti. — *P.:* Koju prosječnu veličinu obično imaju ozvučne ploče? *O.:* Oko 1 m × 1 m. — *P.:* Na što treba paziti kod ugrađivanja zvučnika u kutiju? *O.:* Kutija treba da ima veće dimenzije u visinu i širinu nego u dubinu. Stražnja stijena kutije mora imati velike rupe.

57. — Kod elektrodinamičkih zvučnika, o kojima smo dosad govorili, bilo je magnetsko polje, u kojemu titra titrajna zavojnica, proizvedeno od elektromagneta s istosmjernom strujom. Ovi zvučnici rade dakle sa s t r a n i m u z b u đ i v a n j e m (vidi sl. 44. i 46). No magnetsko polje se može proizvesti i pomoću p e r m a n e n t n o g m a g n e t a. Takvi zvučnici nazivaju se *permanentnodinamički zvučnici*. U novije vrijeme najviše se upotrebljavaju ovi zvučnici. Prednost permanentnodinamičkih zvučnika naročito je očita kod velikih razglasnih uređaja, jer za njih nije potreban četvorožilni, već samo dvožilni kabel (za priključivanje titrajne zavojnice). Osim toga kod njih nema smetnji od mrežnog tona koji nastaje uslijed pogona elektromagneta iz mreže. Kako kod permanentnodinamičkih zvučnika nema ispravljača, oni rade s većom pogonskom sigurnošću nego elektrodinamički zvučnici.

58. — Uvođenje permanentnodinamičkih zvučnika omogućeno je tek upotrebom modernih *magnetskih čelika*. Dodavanjem željezu *(Fe)* aluminija *(Al)*, kobalta *(Co)*, nikla *(Ni)* i titana *(Ti)* uspjelo je proizvesti takve permanentne magnete koji su bili znatno bolji od dotadanjih permanentnih magneta. Mnogi od ovih visokovrijednih magnetskih čelika poznati su pod zajedničkim imenom Örstit. Usput spominjemo da se ovi magnetski čelici često upotrebljavaju i kod gradnje mjernih instrumenata s pokretnom zavojnicom, kod električkih brojila i drugih električkih uređaja. Za prosuđivanje vrijednosti permanentnih magneta služi *dobrota G*. Ona ne ovisi ni o samoj r e m a n e n c i j i $\mathfrak{B}_R$, ni o samoj k o e r c i t i v n o j s i l i $\mathfrak{H}_K$ (vidi dio II, odsjek 7), nego o produktu $\mathfrak{B}_R \cdot \mathfrak{H}_K$.



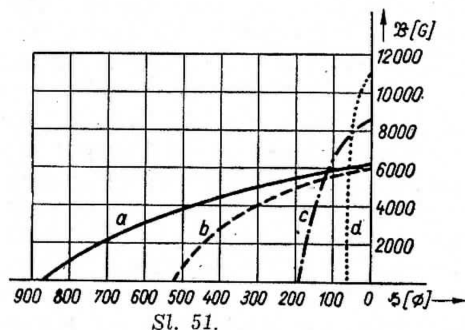
Sl. 50.

No ni ovim produktom nije dobrota permanentnog magneta jednoznačno određena. Razlog se vidi promatranjem sl. 50. Tamo vidimo dio poznate krivulje razmagnetiziranja (vidi dio II, sl. 4) za dva različita magnetska čelika. Iako oba čelika imaju istu remanenciju $\mathfrak{B}_R$ i istu koercitivnu silu $\mathfrak{H}_K$, krivulja *I* je jače savijena nego krivulja *II*. Dobrotu magnetskog čelika određuje također stepen zakrivljenosti krivulje razmagnetiziranja. Protivno prijašnjim navodima dobrota je jednoznačno određena površinom n a j v e ć e g p r a v o k u t n i k a, koji se može upisati u krivulju magnetiziranja: $G = (\mathfrak{B} \cdot \mathfrak{H})_{maks}$. Po prijašnoj definiciji imali bi magnetski čelici prema sl. 50, jednake dobrote, jer imaju istu remanenciju i istu koercitivnu silu. No dobrota prvoga magnetskog čelika je zapravo $G_1 = (\mathfrak{B} \cdot \mathfrak{H})_{maks} = \mathfrak{B}_1 \cdot \mathfrak{H}_1$, a dobrota drugog magnetskog čelika $G_2 = \mathfrak{B}_2 \cdot \mathfrak{H}_2$, to jest $G_1 > G_2$. Prvi magnetski čelik ima dakle v e ć u dobrotu nego drugi. Položaj radne tačke A_1 odnosno A_2 u slučaju najveće površine pravokutnika može se naći na slijedeći način: tačka *P*, koja ima koordinate $\mathfrak{H}_K$ i $\mathfrak{B}_R$, spoji se s nul-tačkom *O*, te se dobije p r a v a c *PO*. Sjecište ovog pravca s krivuljom razmagnetiziranja daje traženu

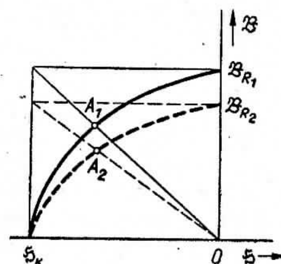
radnu tačku A_1, odnosno A_2. U slijedećoj tabeli navedene su najvažnije magnetske vrijednosti za tri različita magnetska čelika. Remanencija $\mathfrak{B}_R$ naznačena je u gausima [G], a koercitivna sila u erstedima [Φ][7]):

	$\mathfrak{B}_R$ =	$\mathfrak{H}_K$	$(\mathfrak{B} \cdot \mathfrak{H})_{maks}$
Volframov čelik	= 9 500. . .11 500 G	= 55. . . 70 Φ	≈ 285 000
Kobalt-kromov čelik (15% Co)	7 500. . . 9 500 G	170. . .200 Φ	700 000
Ni- Al- Co- Ti-čelik	6 000. . . 8 000 G	600. . .900 Φ	1 800 000

Nadalje se na sl. 51. vide krivulje razmagnetiziranja magnetskih čelika s kobaltom i titanom (Co- Ti-čelik), krivulja *a*, s aluminijem i niklom (Al-



Sl. 51.



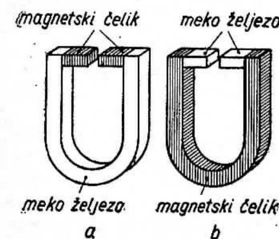
Sl. 52.

Ni-čelik), krivulja *b*, te s 15% kobalta (Co-čelik), krivulja *c*, za usporedbu sa starijim volframovim magnetskim čelikom (W-čelik), krivulja *d*. Jasno se vidi velika prednost modernih magnetskih čelika.

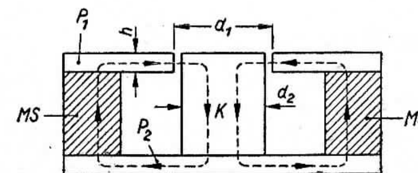
59. — *Zračni raspor* kod dinamičkog zvučnika djeluje r a z m a g n e t i z i r a j u ć e, to jest remanencija $\mathfrak{B}_{R1}$ bez raspora padne s rasporom na vrijednost $\mathfrak{B}_{R2}$ (sl. 52). Koercitivna sila ostaje usprkos zračnom rasporu nepromijenjena, dok se radna tačka A_1 pomakne u A_2. Položaj radne tačke ovisi i o o b l i k u permanentnog magneta. Važan je naime odnos duljine prema debljini magnetskog čelika. Što je ovaj odnos veći, to više se radna tačka pomiče prema gore. Radna tačka mora (prema odsjeku 58) ležati u području najveće magnetske energije. Ovi zahtjevi kod visokovrijednih magnetskih čelika uvjetuju m a l e n spomenuti odnos, te dakle z b i j e n u konstrukciju permanentnih magneta. Budući da su moderni magnetski čelici prilično skupi, mora utrošak materijala biti što manji i materijal što bolje iskorišten. Osim toga moderni magnetski čelici su vanredno tvrdi i ne mogu se tokariti ni bušiti.

[7]) 1 ersted $= \dfrac{1}{0{,}4\,\pi} \approx 0{,}8$ Az/cm.

Zbog toga je potrebno da se već samim lijevanjem dobije konačni oblik zajedno s rupama, udubinama itd. Kod obrađivanja dolazi u obzir jedino



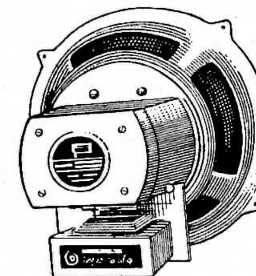
Sl. 53.



Sl. 54.

brušenje. Također zbog svega ovoga imaju visokokvalitetni permanentni magneti zbijen oblik. Najveći dio tijela magneta izrađuje se od mekog željeza. Tako na primjer kod magnetskog čelika Örstit 900 skoro cijeli magnetski krug je od m e k o g željeza, a samo polovi su od magnetskog čelika (sl. 53).

60. — Na sl. 54. vidimo okomiti presjek kroz permanentni magnet nekog permanentnodinamičkog zvučnika, a na sl. 55, vanjski izgled cijelog zvučnika (s izlaznim transformatorom). *MS* su prizmatični dijelovi od magnetskog čelika smješteni simetrično oko jezgre *K* koja je od mekog željeza. P_1 i P_2 su dvije ploče od mekog željeza s visokim magnetskim zasićenjem. Crtkane linije prikazuju tok magnetskih silnica, koje prolaze djelomično kroz magnetski čelik, a djelomično kroz meko željezo i zrak, dakle kroz tri materije. Kod proračunavanja se cijeli magnetski sistem može smatrati kao sistem od dvije tvari, jer se jakost magnetskog polja u mekom željezu prema jakosti polja u čeliku i u zračnom rasporu može zanemariti. Kod određivanja *gustoće energije* E_L mora se naći volumen *zračnog raspora*. Zračni raspor je prstenastog oblika s vanjskim promjerom d_1 i unutarnjim d_2, a visina mu je *h*. Za gustoću energije vrijedi jednadžba:


Sl. 55.

$$E_L = \frac{\mathfrak{B}_{L}^2 \cdot h}{32} (d_1^2 - d_2^2) \text{ [erga]} \quad . \; . \; . \; . \quad (10)$$

Ovdje su d_1, d_2 i *h* u [cm], a magnetska indukcija $\mathfrak{B}_L$ u zračnom rasporu u [G]. Kod v e l i k i h zvučnika gustoća energije u zračnom rasporu iznosi $E_L \approx 2{,}70 \cdot 10^8$ erga. Za s o b n e zvučnike je $\mathfrak{B}_L = 6\,000$ do $9\,000$ G,

a za velike zvučnike $\mathfrak{B}_L = 9\,000$ do 16 000 G. Faktor rasipanja, to jest odnos magnetske indukcije $\mathfrak{B}_L$ u zračnom rasporu prema magnetskoj indukciji $\mathfrak{B}$ u magnetskom čeliku, kod modernih permanentnih magneta iznosi oko 0,6 do 0,8 ili 60 do 80%.

Ponavljanje

Kod *permanentnodinamičkih zvučnika* magnetsko polje ne proizvodi elektromagnet, nego permanentni magnet od visokokvalitetnog magnetskog čelika (Örstit). Ovakvi magnetski čelici su legure s aluminijem, kobaltom, niklom ili titanom. Dobrota G magnetskog čelika dana je najvećom površinom pravokutnika koji se može ucrtati u krivulju razmagnetiziranja: $G = (\mathfrak{B} \cdot \mathfrak{H})_{maks}$. Nije dakle dovoljna sama veličina remanencije ili sama koercitivna sila. Zbor zračnog raspora remanencija se kod dinamičkog zvučnika umanjuje, te se radna tačka na krivulji razmagnetiziranja pomakne. Najbolje je da se visokokvalitetnom permanentnom magnetu dade zbijen oblik, pri čemu se najveći dio magnetskog tijela može izraditi od mekog željeza. Odnos magnetske indukcije u rasporu prema magnetskoj indukciji u čeliku, dakle *faktor rasipanja*, kod modernih magneta za zvučnike iznosi oko 0,6 do 0,8.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je permanentnodinamički zvučnik i kakve prednosti on ima? *Odgovor:* Permanentnodinamički zvučnik je takav dinamički zvučnik, kod kojeg magnetsko polje proizvodi permanentni magnet, te je za priključivanje dovoljan samo dvožilni kabel. Time se dobiva veća pogonska sigurnost, a također i manje brujanje nego kod elektrodinamičkog zvučnika. — *P.:* Od čega su građeni permanentni magneti kod permanentnodinamičkih zvučnika? *O.:* Od visokokvalitetnih magnetskih čelika (s dodacima *Al, Co, Ni, Ti)* kao na primjer Örstit. — *P.:* Čime se određuje dobrota magnetskog čelika? *O.:* Površinom najvećeg pravokutnika, koji se može upisati u krivulju razmagnetiziranja. — *P.:* Kako se dolazi do radne tačke na krivulji razmagnetiziranja? *O.:* Tačka s koordinatama $\mathfrak{H}_K$ (koercitivna sila) i $\mathfrak{B}_R$ (remanencija) spoji se s nul-tačkom krivulje razmagnetiziranja; sjecište ovog pravca s krivuljom daje traženu tačku. — *P.:* Kakav utjecaj na magnetsko polje magneta za zvučnik ima zračni raspor? *O.:* On djeluje razmagnetizirajuće, to jest umanjuje remanenciju. — *P.:* Kakav oblik imaju moderni permanentni magneti? *O.:* Zbijeni oblik, dakle malen odnos dužine prema debljini. — *P.:* Kakav nedostatak imaju visokokvalitetni magnetski čelici? *O.:* Prilično su skupi i ne mogu se tokariti ni bušiti. — *P.:* Što razumijevamo pod faktorom rasipanja nekog magneta za zvučnik, i koja je prosječna vrijednost ovog faktora? *O.:* Odnos magnetske indukcije u zračnom rasporu prema magnetskoj indukciji u magnetskom čeliku. Kod visokokvalitetnih permanentnih magneta faktor rasipanja iznosi oko 0,6 do 0,8. — *P.:* Kolika je magnetska indukcija u zračnom rasporu sobnog dinamičkog zvučnika? *O.:* $\mathfrak{B}_L = 6\,000$ do 9 000 G.

Pitanja

19. Kolika je impedancija niskoomskog dinamičkog zvučnika?
20. Zašto kod modernih magnetskih čelika dolazi do naročito velike uštednje materijala?

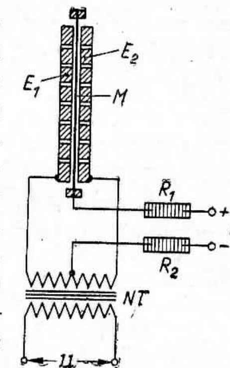
Zadaci

15. Permanentnodinamički sobni zvučnik ima ozvučnu ploču veličine 0,8 × 0,8 m. Koja se najniža frekvencija može besprijekorno prenijeti?

16. Zračni raspor nekog magneta za zvučnik širok je 1 mm i visok 5 mm. Željezna jezgra ima promjer 20 mm. Kolika je gustoća magnetske energije u rasporu, ako je magnetska indukcija u rasporu 8 000 G?

Elektrostatski zvučnik

61. — Kod elektromagnetskih i elektrodinamičkih zvučnika se (zbog malene površine) ne iskorištava kotva, odnosno titrajna zavojnica, za direktno emitiranje zvučnih titraja, nego je titrajno tijelo vezano s naročitom membranom. Kod *elektrostatskog zvučnika (kondenzatorskog zvučnika)* titrajno tijelo i membrana su identični, jer titrajno tijelo istodobno djeluje i kao zvučna membrana. Time se dobiva posve jednostavna konstrukcija zvučnika. Na sl. 56. prikazana je osnovna konstrukcija elektrostatskog zvučnika. Između dvije debele, čvrste i izrupičane metalne elektrode E_1 i E_2, koje su jedna od druge neznatno razmaknute, nalazi se vrlo tanka (oko 0,04 mm) metalna membrana M (promjer 200 do 300 mm). Membrana je od obiju elektroda naročito dobro izolirana. Na elektrode E_1 i E_2, koje s membranom M čine pločasti kondenzator, odlazi iz anodnog kruga izlazne elektronke, i to preko niskofrekventnog transformatora NT, niskofrekventni izmjenični napon $\mathfrak{U}$. Metalne elektrode se prema tome u taktu tonske frekvencije nabijaju. Kako još k tome između membrane M i elektrode E_1, odnosno E_2, vlada istosmjerni napon U, to će na membranu djelovati privlačna sila, koja će je prisiliti na titranje u taktu tonske frekvencije. Ovo se titranje membrane prenosi direktno na uzduh. Elektrostatske privlačne sile su razmjerne kvadratu napona. Ako se dakle elektrostatski zvučnik uzbudi sinusoidalnim izmjeničnim naponom $\mathfrak{U} \cdot \sin \omega t$ tada se sila, koja djeluje na membranu, mijenja sa $\sin^2 \omega t$. Iz toga slijedi, da sila, a prema tome i reproducirani ton, ima frekvenciju dvaput višu nego izmjenični napon (*udvostručivanje frekvencije*). Osim toga kod prenošenja smjese tonova nastaju još sumacioni i diferencioni tonovi (vidi dio II, odsjek 111). Uzrok ovom nelinearnom izobličenju moguće je lako pronaći: možemo naime $\sin^2 \omega t$ pretvoriti u $\frac{1}{2} (\sin^2 \omega t + \sin^2 \omega t) = \frac{1}{2} (\sin^2 \omega t + 1 - \cos^2 \omega t) = \frac{1}{2} [1 - (\cos^2 \omega t - \sin^2 \omega t] = \frac{1}{2} \cos 2\,\omega t$. Iz ovoga se vidi, da zaista umjesto kružne frekvencije ω nastaje kružna frekvencija $2\,\omega$.



Sl. 56.

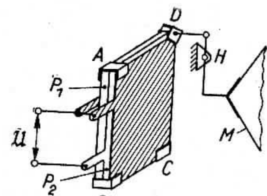
62. — Da se izbjegne udvostručivanje frekvencije, dobiva membrana M prema elektrodama E_1 i E_2, preko visokoomskih otpora R_1 i R_2 (otpori radi zaštite u slučaju kratkog spoja ili proboja), pozitivni isto-

smjerni napon od 1 000 do 2 000 V (vidi sl. 56). Ukupna sila, koja djeluje na membranu još je, doduše, uvijek razmjerna kvadratu $(U + u \cdot \sin \omega t)^2$. Izračunamo li ovaj izraz, dobivamo $(U^2 + 2U \cdot u \sin^2 \omega t$. Budući da je U vrlo veliko prema u, može se u^2 prema U^2 zanemariti. Efektivna sila je prema tome razmjerna izrazu $(U^2 + 2U \cdot u \cdot \sin \omega t)$, to jest promjenljivi dio ove sile ima istu frekvenciju kao i ukupni napon! Tako do udvostručivanja frekvencije praktički ne dolazi.

63. — Elektrostatski zvučnici rade bez izobličenja i naročito dobro reproduciraju područje visokih frekvencija. No kako zvučnik, koji nije ništa drugo nego pločasti kondenzator, čini s priključenim strujnim krugom titrajni krug, mogu nastati rezonantne pojave. Prikladnim dimenzioniranjem spojnih elemenata mogu se rezonantne pojave potisnuti izvan čujnog područja. No usprkos svojih prednosti nije elektrostatski zvučnik — u prvom redu zbog malenog stupnja djelovanja — ušao u praktičku upotrebu i danas jedva da se negdje upotrebljava.

Piezoelektrički zvučnik

64. — Na kraju ćemo se još ukratko pozabaviti *piezoelektričkim zvučnikom (kristalnim zvučnikom)*. Protivno piezoelektričkom mikrofonu, kod piezoelektričkog zvučnika iskorištava se za pretvaranje niskofrekventnog izmjeničnog napona u odgovarajuće mehaničke titraje *recipročni piezoelektrički efekt* (vidi dio II, odsjek 372). Piezoelektrički zvučnik sastoji se, kao što se vidi iz sl. 57, od dvije tanke (oko 0,3 mm) kristalne ploče P_1 i P_2 (Seignetova sol; vidi odsjek 43), koje su uglovima A, B i C pritisnute jedna na drugu. Ugao D se može slobodno gibati. Kristalne ploče su obložene listovima staniola. Također između ploča nalazi se jedan staniolni list. Dovede li se pločama izmjenični napon, počnu one mehanički titrati. Ovo se titranje preko poluge H prenosi na membranu M i pomoću membrane pretvara u zvučno titranje. Kako kristalne ploče imaju izrazitu rezonantnu frekvenciju, a osim toga titraju s malenim amplitudama, nije piezoelektrički zvučnik mogao ući u praksu. Jedino kao *visokotonski zvučnik* ima piezoelektrički zvučnik stanovito značenje, i to kao dodatak običnom zvučniku radi poboljšanja reprodukcije područja visokih tonova. Ovdje naime izrazita rezonancija dobro dolazi, a naprezanje kristalnih ploča je zbog malenih amplituda kod visokih frekvencija znatno manje nego kod niskih frekvencija.



Sl. 57.

Ponavljanje

Kod *elektrostatskog zvučnika (kondenzatorskog zvučnika)* titra jedna velika membrana, i to uslijed promjena naboja između nje i čvrstih metalnih elektroda, koje su smještene jedna nasuprot druge. Ova membrana istodobno djeluje i kao membrana zvučnika, koja isijava zvuk. Da ne dođe do udvostručivanja frekvencija, dobiva membrana prema metalnim elektrodama visok istosmjerni napon.

Djelovanje *piezoelektričkog zvučnika (kristalnog zvučnika)*, osniva se na recipročnom piezoelektričkom efektu. Dvjema kristalnim pločama, koje su obložene staniolnim listovima i jedna na drugu su pritisnute, dovodi se izmjenični napon, uslijed čega ploče titraju. Ovi se titraji preko poluge prenose na membranu zvučnika. Kristalni se zvučnik u praksi upotrebljava samo kao dodatni *visokotonski zvučnik*, da se poboljša reprodukcija visokotonskog područja.

Pitanja i odgovori

Pitanja: Kako radi elektrostatski zvučnik? *Odgovor:* Između dviju čvrstih metalnih elektroda nalazi se dobro izolirana metalna membrana, koja ima električki prednapon. Uslijed djelovanja izmjeničnog napona nastaju na elektrodama promjene naboja, te membrana titra. — *P.:* Što ove titraje pretvara u zvučne titraje? *O.:* Sama membrana. — *P.:* Kakav nedostatak ima elektrostatski zvučnik? *O.:* Emitirani titraji imaju frekvenciju dvaput višu nego priključeni napon. — *P.:* Kako se ovo može izbjeći? *O.:* Tako da membrana prema elektrodama dobije visok istosmjerni napon. — *P.:* Kako radi piezoelektrički zvučnik? *O.:* Dvjema kristalnim pločama, koje su obložene staniolnim listovima, dovodi se niskofrekventni izmjenični napon. Uslijed recipročnog piezoelektričkog efekta kristalne ploče titraju. Ovo se titranje preko poluge prenosi na membranu zvučnika. — *P.:* Što se može reći o praktičkom značenju elektrostatskog i piezoelektričkog zvučnika? *O.:* Obje vrste zvučnika gotovo se uopće ne upotrebljavaju. Samo piezoelektrički zvučnik ima neko praktičko značenje kao dodatni visokotonski zvučnik. — *P.:* Čemu služi visokotonski zvučnik? *O.:* Visokotonski zvučnik se dodaje običnom zvučniku da se poboljša reprodukcija visokih tonskih frekvencija.

Akustičko planiranje velikih razglasnih uređaja

65. — Na koncu našeg izlaganja o načinu rada zvučnika pozabavit ćemo se još najvažnijim principima *akustičkog planiranja velikih razglasnih uređaja*, a reći ćemo nešto i o velikim zvučnicima. Pri tome u prvom redu mislimo na zajednički prijem u velikim prostorijama i na slobodnom prostoru, na razglasne uređaje sportskih igrališta i na pogonske razglasne uređaje u društvenim prostorijama, blagovaonicama, radionicama itd. Kako se od slučaja do slučaja radi o sasvim različitim uvjetima prenošenja, jedva je moguće dati neke opće upute za pravilnu raspodjelu zvuka. Međutim velika iskustva stečena posljednjih godina omogućuju da se postave jednostavna pravila, po kojima se govorna snaga i veličina zvučnika mogu barem približno odrediti. No ni u kojem slučaju nije dovoljno da se teoretski odredi potrebna govorna snaga za stanovitu veličinu prostorije, i da se ova snaga po volji razdijeli na jedan ili više zvučnika. Slijedeća razlaganja će nam pokazati da se kod akustičkog planiranja mora u velikoj mjeri voditi računa i o akustici prostorija.

66. — Najprije je potrebno odrediti govornu snagu koju pojačalo mora bezuvjetno dati. Govorna snaga ne ovisi samo o veličini

prostorije, odnosno o broju slušača, nego i o vremenu odjeka, o visini nivoa smetnji i o stupnju djelovanja zvučnika. Proračunavanje govorne snage nekog pojačala i raspodjelu ove snage na više priključenih zvučnika upoznali smo u dijelu II, odsjecima 102. do 132, 146, 149, 153, a proračunavanje vremena odjeka u dijelu III, odsjecima 21. do 23, tako da u ovo nije potrebno još jednom ulaziti. Za proračunavanje snage, koju je potrebno dovesti zvučnicima, i to ne za suviše visoke prostorije i uz jednoliku raspodjelu zvuka u prostoriji, vrijedi slijedeća približna formula:

$$\mathfrak{N} = \frac{V \cdot \alpha}{T \cdot \eta} \cdot 10^{-4} \text{ [W]} \quad \text{(u zatvorenim prostorijama)} \qquad (11)$$

Ovdje je V volumen prostorije u [m³], T je vrijeme odjeka u [s], α je vrijednost nivoa smetnja, a η stupanj djelovanja zvučnika. Za vrlo tihe prostorije može se staviti da je $\alpha = 1$ do 2, za bučne prostorije (na primjer društvene prostorije, blagovaonice) $\alpha = 3$ do 6, a za vrlo bučne prostorije (na primjer plesne dvorane $\alpha \approx 10$. Stupanj djelovanja starijih dinamičkih zvučnika je $\eta \approx 0{,}02$, a kod modernih dinamičkih zvučnika $\eta \approx 0{,}06$. Ima li na primjer neka prostorija volumen od 900 m³, to je prema odsjeku 21. najpovoljnije vrijeme odjeka $T = 1{,}2$ s; uz faktor nivoa smetnji $\alpha = 3$ i stupanj djelovanja zvučnika $\eta = 0{,}02$ potrebna je prema jedn. (11) govorna snaga $\mathfrak{N} = 900 \cdot 3 \cdot 10^{-4}/(1{,}2 \cdot 0{,}02) \approx 11$ W.

67. — Kod razglasa *na slobodnom prostoru* odnosi su sasvim drugačiji, jer u ovom slučaju općenito nema odjeka. Prema tome iz jedn. (11) vrijeme odjeka T ispada. Proračunavanje govorne snage vrši se tada po slijedećoj približnoj formuli:

$$\mathfrak{N} = \frac{F \cdot \alpha}{20} \text{ [W]} \quad \text{(u slobodnom prostoru)} \qquad (12)$$

F je površina u [m²] koju je potrebno pokriti zvukom. Faktor nivoa smetnji α u slobodnom prostoru je većinom dosta visok (vjetar, ulični promet itd.), i može se staviti $\alpha = 3$ do 10. Ako je govornu snagu na slobodnom prostoru potrebno izračunati prema broju slušača n, tada se može uzeti da 3 slušača dolaze na površinu od 1 m².

Iz onoga što je gore rečeno izlazi da jedn. (11) i (12) mogu dati samo približne vrijednosti za govornu snagu. Prema tome je uvijek bolje da se razglasni uređaj dimenzionira obilnije!

Ponavljanje

Kod *akustičkog planiranja velikih razglasnih uređaja* najprije je potrebno naći govornu snagu; ona ovisi o volumenu prostorije V, o vremenu odjeka T, o faktoru nivoa smetnji α i o stupnju djelovanja zvučnika η, a izračunava se po slijedećoj približnoj formuli: $\mathfrak{N} = V \cdot \alpha \cdot 10^{-4}/(T \cdot \eta)$ [W]. Za ozvučivanje slobodnog prostora vrijedi približna formula: $\mathfrak{N} = F \cdot \alpha/20$ [W], gdje je F površina koju treba pokriti zvukom. Ove formule vrijede međutim samo približno.

Pitanja i odgovori

Pitanje: O čemu ovisi govorna snaga kod velikih razglasnih uređaja? *Odgovor:* O volumenu prostorije V, o vremenu odjeka T, o faktoru nivoa smetnji α i o stupnju djelovanja η zvučnika. — *P.:* Po kojoj se formuli može izračunati potrebna govorna snaga i u kojim jedinicama treba unijeti pojedine veličine? *O.:* Po približnoj formuli: $\mathfrak{N} = V \cdot \alpha \cdot 10^{-4}/T \cdot \eta)$ [W]; V je u [m³], T u [s], dok su α i η neimenovani brojevi. — *P.:* Koliki je faktor nivoa smetnji? *O.:* U vrlo tihim prostorijama je $\alpha = 1$ do 2, u bučnim prostorijama $\alpha = 3$ do 6, a u vrlo bučnim prostorijama $\alpha \approx 10$. — *P.:* Kolik stupanj djelovanja ima dinamički zvučnik? *O.:* Kod starijih zvučnika je $\eta \approx 0{,}02$, dok je kod modernih zvučnika $\eta \approx 0{,}06$. — *P.:* Kako se izračunava govorna snaga za razglas u slobodnom prostoru? *O.:* Po približnoj formuli: $\mathfrak{N} = F \cdot \alpha/20$ [W]). — *P.:* Što ovdje znači F? *O.:* To je ploha u [m²] koju je potrebno pokriti zvukom. — *P.:* Što je potrebno imati na umu kod upotrebe ovih formula? *O.:* Da one daju samo približne vrijednosti.

Pitanja

21. Koje smo sve vrsti zvučnika upoznali?

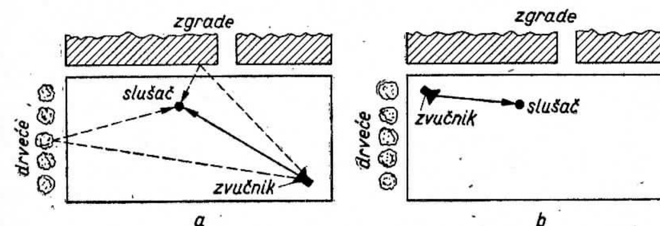
22. Zašto se govorna snaga za velike razglase ne može tačno izračunati?

Zadaci

17. U nekoj velikoj radionici, koja ima volumen 12 000 m³, potrebno je instalirati razglasni uređaj i to sa starijim dinamičkim zvučnicima. Kolika je potrebna govorna snaga uz najpovoljnije vrijeme odjeka, ako je faktor nivoa smetnji 4?

18. Za razglas u slobodnom prostoru stoji na raspolaganju 8 permanentnodinamičkih zvučnika sa snagom po 25 W. Faktor nivoa smetnji neka je 5. a) Kolika se površina može pokriti zvukom? b) Koliko slušača može prisustvovati razglasu?

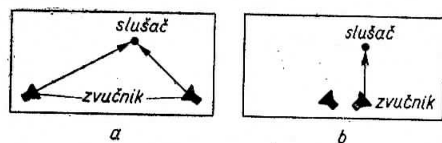
68. — Nakon toga što smo prema posljednjim odsjecima odredili potrebnu govornu snagu, možemo prijeći na ispravan *izbor i postavljanje*



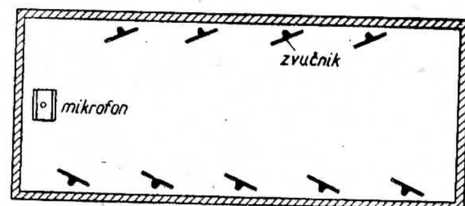
Sl. 58.

zvučnika. I za ovaj slučaj mogu lokalne prilike biti tako različite, da se ne mogu dati neka općenita pravila nego samo osnovne upute. Prije svega moramo uvijek izbjegavati slijedeće akustičke pojave: 1. *Jeku* koja nastaje onda, ako se zvučni valovi, koje emitira zvučnik, reflektiraju od udaljenih zidova, grupa drveća, obronaka itd. Kako nastaje jeka i kako je možemo izbjeći, pokazuje sl. 58, koja je bez daljnjega razumljiva. Sl. 58*a*. prikazuje nepravilno, a sl. 58*b*, pravilno postavljeni zvuč-

nik. 2. *Dvostruki govor.* Ako do slušača dolaze zvučni valovi iz dvaju ili više zvučnika koji su od slušača različito udaljeni, tada zbog razlike u putu slušač dotični prenos čuje dvostruko ili višestruko (sl. 59*a*). *Akustička reakcija:* Ako se zvučni valovi iz zvučnika, bilo direktno bilo kao reflektirani, vraćaju na mikrofon pred kojim se govori, tada se oni u mikrofonu pretvaraju u električke titraje, u pojačalu se ponovo pojačavaju i emitiraju preko zvučnika. Zbog ovakve reakcije dolazi na koncu u cijelom razglasnom uređaju do samouzbuđenja (zavijanja, odnosno zviždanja). Do ove pojave dolazi onda, kada je energija zvučnih valova, koji od zvučnika dolaze do mikrofona, veća nego energija prvotnih zvučnih valova. Stoga treba nastojati da se prikladnim postavljanjem mikrofona izbjegnu zvučni valovi koji dolaze od zvučnika. Akustička reakcija može se izbjeći i tako da se zvučnik postavi u neosjetljivu zonu usmjernog mikrofona (vidi odsjeke 29 i 40). Ako to ne pomaže, mora se mikrofon posebnim »sjenilom za zvuk« zaštititi od zvučnih valova koji dolaze od zvučnika, ili se pojačanje mora dotle smanjivati, dok akustička reakcija ne prestane. Često do akustičke reakcije dolazi i tako, što zvučni valovi djeluju na elektronke pojačala. U ovakvom slučaju potrebno je elektronke zaštititi navlakom od spužvaste gume ili ih omotati nekom tkaninom



Sl. 59.

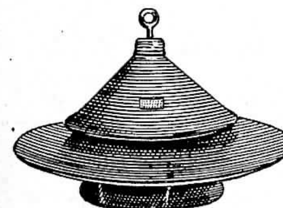


Sl. 60.

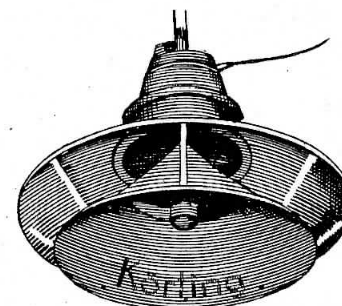
69. — U zatvorenim prostorijama su akustičke prilike često vrlo nepovoljne. Ovo je slučaj naročito u prostorijama koje imaju svodove i mnogo udubina (na primjer u velikim crkvama). U većini slučajeva ne može se u velikim prostorijama postići besprijekoran razglas s jednim jedinim zvučnikom. U takvom bi slučaju naime oni slušači, koji bi se nalazili u blizini zvučnika, slušali izvedbu s prevelikom glasnoćom, dok bi je udaljeni slušači mogli možda jedva razumjeti. Nadanje treba imati na umu, da visoke tonske frekvencije, koje emitira zvučnik, imaju dosta jako usmjerno djelovanje (vidi odsjek 48), tako da je za velik dio slušača, koji sjede po strani, reprodukcija govora sasvim loša. Stoga je potrebno da se ukupna govorna snaga porazdijeli na *mnogo malih zvučnika* srednje snage. Ove zvučnike potrebno je tada postaviti

na sasvim određena mjesta. Na sl. 60. vidimo kao primjer raspodjelu zvuka u jednoj velikoj dvorani, koja ima površinu poda 20 m × 50 m, Na jednoj bočnoj stijeni prostorije nalaze se četiri, a na drugoj pet zvučnika srednje snage. Međusobna udaljenost zvučnika iznosi oko 8 m. Ozvučne ploče zvučnika nagnute su prema dolje, kako bi emitirani zvučni valovi dolazili do slušača direktno; time se znatno ublažuje djelovanje prevelikog odjeka u velikim prostorijama s golim zidovima. Malim zakretom zvučnika prema površini zida izbjegava se akustička reakcija.

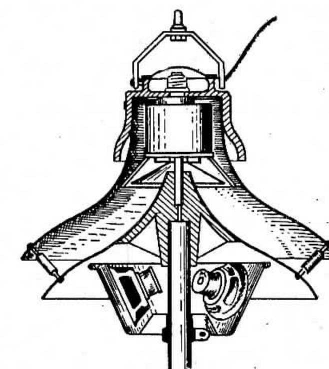
70. — Da se izbjegnu neugodna jeka i odjek u zatvorenim prostorijama često se s uspjehom može upotrijebiti takozvani *zvonasti zvučnik.* Ovdje se radi o dinamičkom zvučniku s ljevkastim reflektorom, koji zvučne valove emitira prema dolje, tako da se velika kružna ploha oko zvučnika može jednoliko pokriti zvukom. Na sl. 61. vidimo vanjski izgled jednog ovakvog zvučnika za prostorije srednje veličine, a na sl. 62. pogled odozdo u veliki zvonasti zvučnik. Ovaj posljednji može se objesiti ili nataknuti na stup. Ispod zvučnika nalazi se lijevak (vidi sl. 62. i 63). Gornji i donji lijevak usmjeruju zvučne valove prema dolje. Na sl. 63. vidimo presjek i unutarnju konstrukciju jednog zvonastog zvučnika. Ovaj zvučnik ima dolje još i tri visokotonska zvučnika, koji sa svojim malenim membranama emitiraju samo visoke tonske frekvencije. Pokazalo se naime da se kod običnih zvonastih zvučnika visoke frekvencije čuju dobro samo na razmjerno malenoj kružnoj plohi oko zvučnika, dok se niske frekvencije naprotiv čuju u cijelom kružnom području, koje po-



Sl. 61.



Sl. 62.



Sl. 63.

kriva zvučnik. Ovaj nedostatak, koji se naročito neugodno osjeća kod reprodukcije govora, može se otkloniti dodavanjem visokotonskih zvučnika. Kako ćemo kasnije vidjeti zvonasti zvučnici imaju naročito veliku primjenu kod ozvučivanja velikih ploha u *slobodnom* prostoru.

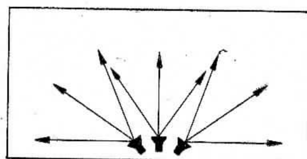
Ponavljanje

Kod velikih razglasnih uređaja potrebno je naročito paziti na to da ne dođe do *jeke, dvostrukog govora* i *akustičke reakcije.* Ove pojave se mogu izbjeći spretnim postavljanjem zvučnika odnosno mikrofona. Kod ozvučivanja velikih prostorija rijetko se može izaći s jednim zvučnikom. U prostorijama koje su akustički nepovoljne, mora se ukupna govorna snaga razdijeliti na više malih zvučnika. Često se uspješno mogu upotrijebiti *zvonasti zvučnici,* koji svojim lijevcima tjeraju zvučne valove prema dolje, tako da je moguće veliku kružnu plohu jednoliko pokriti zvukom (izbjegavanje pojava jeke i odjeka). Radi boljeg emitiranja visokih tonskih frekvencija dodaje se zvonastom zvučniku više *visokotonskih zvučnika.*

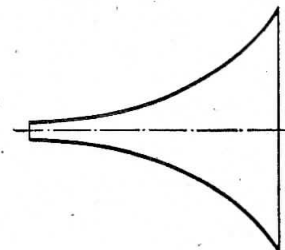
Pitanja i odgovori

Pitanje: Do kakvih štetnih pojava dolazi, ako se zvučnici, odnosno mikrofoni, kod nekog razglasnog uređaja postave nepovoljno? *Odgovor:* Nastaju jeka, dvostruki govor i akustička reakcija. — *P.:* Kako dolazi do dvostrukog govora? *O.:* Tako što slušač čuje zvučne valove istodobno iz dvaju ili više zvučnika. — *P.:* Kako nastaje akustička reakcija? *O.:* Povratnim djelovanjem zvučnih valova iz zvučnika na mikrofon ili na elektronke pojačala. — *P.:* Po čemu se poznaje akustička reakcija? *O.:* Po zavijanju i zviždanju. — *P.:* Kako se može spriječiti nastajanje akustičke reakcije? *O.:* Spretnim postavljanjem zvučnika i mikrofona postiže se da zvučni valovi zvučnika ne dolaze do mikrofona i do pojačala. — *P.:* Kako treba raspodijeliti govornu snagu u velikim prostorijama? *O.:* Na mnogo malih zvučnika, odnosno zvonastih zvučnika. — *P.:* Zašto je ovo povoljno? *O.:* Ovakvom raspodjelom zvuka postiže se svuda umjerena glasnoća; nadalje se izbjegavaju neugodne pojave jeke, odjeka i akustičke reakcije. — *P.:* Kakvo karakteristično djelovanje ima zvonasti zvučnik? *O.:* On emitira zvučne valove prema dolje i zvučnom energizvonastog zvučnika može poboljšati s obzirom na kvalitet tona? *O.:* jom jednoliko pokriva veliku kružnu plohu. — *P.:* Kako se djelovanje zvonastog zvučnika može poboljšati s obzirom na kvalitetu tona? *O.:* Tako da mu se doda više visokotonskih zvučnika.

71. — Dosadašnja razmatranja odnosila su se uglavnom na ozvučivanje *zatvorenih prostorija.* Sada ćemo se pozabaviti pitanjem kako se mogu ozvučiti velike površine *na slobodnom prostoru* (vježbališta, sportska igrališta itd.). U početku prijenosne tehnike pokušalo se ozvučiti tako, da se jedan ili više zvučnika postavilo na jedno mjesto (sl. 64). Za ovu svrhu većinom su se upotrebljavali *zvučnici s lijevkom.* Lijevak ima zadatak da zvučne valove usmjeri u sasvim određenom pravcu. Što je lijevak duži i što je manji uspon lijevka, to je usmjerivanje zvučnih valova jače (»akustički reflektor«). Zato se ovakvi zvučnici nazivaju i *usmjerni zvučnici.* Pobliža istraživanja, u koja mi nećemo ulaziti, pokazala su da je najpovoljniji *eksponencijalni lijevak* (sl. 65). Ovdje se radi o lijevku, kod kojeg je povećanje okomitog presjeka po jedinici dužine lijevka uvijek razmjerno presjeku na dotičnom mjestu, to jest odnos prirasta presjeka prema već postojećem presjeku uvijek je isti. To je slučaj kad je granična krivulja lijevka neka eksponencijalna krivulja[8]). Stari eksponencijalni zvučnici nisu se pokazali dobri, jer zbog razmjerno velikog usmjernog djelovanja nije bila moguća jednolična raspodjela zvuka (vidi sl. 64); također je vrlo lako dolazilo do pojava jeke i odjeka, dvostrukog govora i skretanja zvuka zbog vjetra.

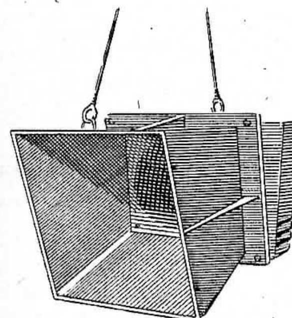


Sl. 64.

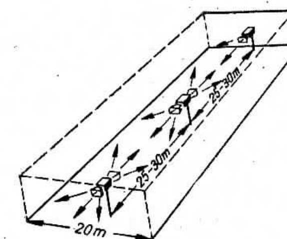


Sl. 65.

72. — S druge strane mogu usmjerni zvučnici biti i korisni; to je onda ako zvučni valovi treba da se šire samo u onom smjeru, u kojem nema nekih ploha, koje bi reflektirale zvuk. Ovo je važno na primjer za raspodjelu zvuka na velikim sportskim igralištima i na sportskim stadionima, gdje tribine mogu uzrokovati neugodne pojave jeke. Također u kolodvorskim dvoranama usmjerni zvučnici su korisni. Moderni usmjerni zvučnici nemaju više dugi lijevak, nego rade s *kratkim lijevkom;* na sl. 66. vidimo kao primjer *jednostavni zvučnik s lijevkom.* Zvučni lijevci su razmjerno kratki i straga imaju nastavak, u kojem se kod jednostavnih zvučnika s lijevkom nalazi jedan, a kod dvostrukih zvučnika dva permanentno-



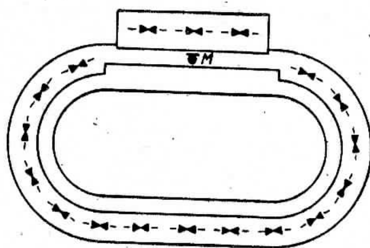
Sl. 66.



Sl. 67.

8) Takva eksponencijalna krivulja ima općenitu jednadžbu: $y = a \cdot e^{bx}$, gdje su a i b stanovite konstante, a $e = 2{,}718$, to jest baza u sistemu prirodnih logaritama; ovdje se pretpostavlja da zvučni lijevak ima kružni presjek.

dinamička sistema, većinom s najvećom govornom snagom od kojih 4 W. Nastavak ima proreze kako zatvoreni uzduh ne bi uzrokovao štetne rezonantne pojave. Zvučnici s kratkim lijevkom nemaju tako izrazito usmjerno djelovanje za zvučne valove kao zvučnici s dugim lijevkom, o kojima smo govorili u odsjeku 71. Zbog dosta širokog otvora lijevka idu zvučni valovi više u širinu, tako da su ovi zvučnici prikladni za ozvučivanje velikih površina na slobodnom prostoru. Nasuprot zvonastim zvučnicima nisu ozvučivane površine okrugle nego približno p r a v o k u t n e. Kod jednostavnog zvučnika s lijevkom dobiva se dobra razumljivost na površini od kojih 15 m × 20 m, a kod dvostrukog lijevka oko 15 m × 40 m (sl. 67). Kod postavljanja zvučnika treba paziti na to, da na ozvučivanoj površini ne bude dijelova zgrada, koji bi mogli uzrokovati jeku. Ova opasnost može se većinom lako otkloniti zakretanjem zvučnika. Okomito na os zvučnika s dvostrukim lijevkom emitiranje zvuka je sasvim maleno. Ako se zvučnici u dvostrukom lijevku spoje p r o t u f a z n o, tada se štaviše može dobiti praktički mrtva zona, u koju se mogu postaviti mikrofoni. Na taj način je moguće postaviti mikrofone tako, da i uz akustički vrlo nepovoljne prilike ne dođe do reakcije. Kao slijedeći primjer vidimo na sl. 68. raspodjelu zvuka na sportskom stadionu srednje veličine. Za ozvučivanje prostora za gledaoce upotrijebljeno je 18 zvučnika s dvostrukim lijevkom, s međusobnom udaljenošću od 25 do 35 m. Ako je pojas za gledaoce vrlo širok, potrebno je postaviti dva reda zvučnika. Zbog razmjerno malenog emitiranja u stranu nije potrebno da razmak između redova bude veći od kojih 15 m. Nadalje na sl. 68. vidimo da je mikrofon *M* smješten u mrtvu zonu zvučnika, koji se nalaze iza njega.



Sl. 68.

Ponavljanje

Z v u č n i c i s l i j e v k o m pripadaju grupi *usmjernih* zvučnika, i oni usmjeruju zvučne valove samo u određenom pravcu. Ovo se najbolje postiže dugim e k s p o n e n c i j a l n i m l i j e v k o m. Moderni usmjerni zvučnici imaju međutim k r a t k e l i j e v k e, koji nemaju tako izrazito usmjerno djelovanje kao dugi lijevci. Zvučnici s kratkim lijevkom ozvučuju plohe koje su približno pravokutnog oblika. Sa zvučnicima s kratkim lijevkom moguće je ozvučiti i akustički nepovoljne površine na slobodnom prostoru (na primjer sportske stadione), a da ne dođe do štetnih pojava jeke i odjeka. Da se izbjegne akustička reakcija može se mikrofon postaviti u mrtvu zonu zvučnika s dvostrukim lijevkom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što su usmjerni zvučnici? *Odgovor:* Zvučnici, koji zvučne valove emitiraju u određenom smjeru. — *P.:* Čime se postizava izrazito

usmjerno djelovanje? *O.:* Upotrebom dugačkih eksponencijalnih lijevaka. — *P.:* Kakav nedostatak imaju zvučnici s eksponencijalnim lijevkom? *O.:* S njima nije moguće ozvučiti velike površine na slobodnom prostoru, jer lako dolazi do pojava jeke i odjeka, do dvostrukog govora i skretanja zvuka zbog vjetra. — *P.:* Kako se ovi nedostaci mogu otkloniti? *O.:* Upotrebom modernih zvučnika s kratkim lijevkom. — *P.:* Kakva je razlika u usmjernom djelovanju između zvučnika s kratkim lijevkom i zvučnika s dugim lijevkom? *O.:* Zvučnici s kratkim lijevkom nemaju tako izrazito usmjerno djelovanje kao zvučnici s dugim lijevkom; oni ozvučuju površine koje su približno pravokutne. — *P.:* Na što treba paziti kod postavljanja usmjernog zvučnika? *O.:* U smjeru emitiranja zvuka ne smije biti dijelova zgrada koji mogu uzrokovati jeku. — *P.:* U kojem slučaju se moderni usmjerni zvučnici naročito rado upotrebljavaju? *O.:* Za ozvučivanje dugih površina, na primjer na sportskim stadionima, u kolodvorskim dvoranama itd. — *P.:* Kako se pri tome može izbjeći akustička reakcija? *O.:* Tako da se mikrofon postavi u mrtvu zonu dvostrukog lijevka, u kojem su zvučnici spojeni protufazno.

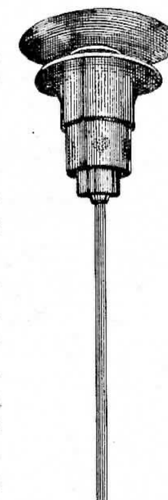
Pitanja

23. Kakva je razlika između zvonastih i usmjernih zvučnika?
24. Koje smo vrste usmjernih zvučnika upoznali?
25. Gdje se nalazi mrtva zona zvučnika s dvostrukim lijevkom, kod kojeg zvučnici rade protufazno?

Zadaci

19. Za ozvučivanje sportskog stadiona upotrijebljeno je za gledalište 8 zvučnika s dvostrukim lijevkom po 8 W govorne snage, a za unutarnje polje 4 zvučnika s jednostavnim lijevkom po 4 W govorne snage, i to u paralelnom spoju. Pojačalo ima prilagodni otpor od 200 oma: a) Kolika mora biti ukupna izlazna snaga pojačala? b) Koliki moraju biti prilagodni otpori pojedinih zvučnika kod najveće govorne snage? c) Provjeri ukupni prilagodni otpor svih paralelno spojenih zvučnika!

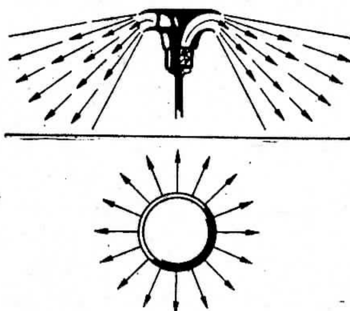
73. — Za jednolično ozvučivanje velikih površina u slobodnom prostoru (na primjer vježbališta, sportskih igrališta itd.) često se upotrebljavaju *zvonasti zvučnici.* Ovu vrstu zvučnika upoznali smo već u odsjeku 70. Zvonasti zvučnici emitiraju zvučne valove ne samo u stanovitim uzdužnim smjerovima, nego jednolično na sve strane oko zvučnika; time se mogu izbjeći pojave jeke i odjeka. Jedna poznata vrsta zvonastih zvučnika je *gljivasti zvučnik.* Gljivasti zvučnik prikazan na sl. 69. ima osim permanentnodinamičkog zvučnika snage oko 20 W u donjem dijelu još tri visokotonska zvučnika, tako da se dobro prenose i visoke tonske frekvencije (do kojih 10 kHz; vidi odsjek 70). Način rada gljivastog zvučnika vidi se na sl. 70; najprije kratki lijevak skreće zvučne valove prema gore, a zatim ih limeni reflektor, koji je smješten iznad lijevka, skreće prema dolje. Na ovaj način se kružna ploha oko zvučnika, u promjeru od kojih 30 m, jednolično pokriva zvukom. Na sl. 71. prikazano je, kako se postavljanjem većeg broja gljivastih zvučnika mo-



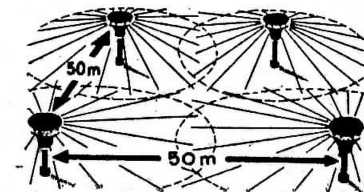
Sl. 69.

že jednolično ozvučiti velika površina. Međusobna udaljenost ovih zvučnika kod 20 W-sistema (visina stupa oko 3,70 m) iznosi 50 do 60 m. Glasnoća je unutar velike plohe na svakom mjestu skoro jednaka. Čak i u neposrednoj blizini gljivastog zvučnika nije glasnoća pretjerano velika. Kod upotrebe zvonastih zvučnika potrebno je paziti na to, da u udaljenosti od barem 15 m ne bude stijena, tribina itd., koje bi mogle uzrokovati refleksiju. Inače dolazi do neugodnih pojava jeke i odjeka.

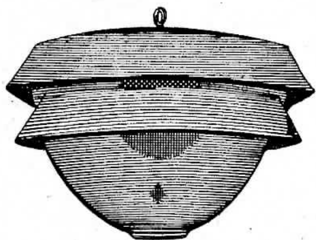
74. — Za ozvučivanje velikih površina upotrebljavaju se osim gljivastih zvučnika također i zvučnici poredani u *obliku prstena*. Takvu kombinaciju vidimo na sl. 72. Ovaj zvonasti zvučnik ne radi samo s jednim zvučnikom, nego s pet permanentnodinamičkih zvučnika sa snagom po 4 W (ukupno 20 W). Ovaj zvučnik jednolično pokriva kružnu površinu promjera kojih 60 m. Na sl. 73. se vidi, kako je pet paralelno spojenih zvučnika s izlaznim transformatorima smješteno u krug. Radi zaštite od prašine, zvučnici imaju tekstilne navlake. Kućište ovog zvučnika sagrađeno je od lakog metala i ima ušicu za ovješenje.



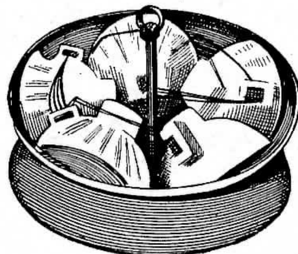
Sl. 70.



Sl. 71.



Sl. 72.



Sl. 73.

75. — Ugradnjom više zvučnika u jedan jedini zvonasti zvučnik, i povišenjem stupnja djelovanja zvučnika, smanjuje se broj zvučnika, koje je potrebno raspodijeliti na nekoj površini. No može se dogoditi da i malen broj zvučnika i stupova za zvučnike smeta pogledu i prolazu ili štetno utječe na umjetnički ili historijski karakter okoline. U takvim slučajevima upotrebljavaju se *zvučnici smješteni u zemlji*. Da se zaštiti od kiše ugrađuje se ovakav zvučnik u betoniranu jamu, koja je s gornje strane zaštićena jakom kupolastom rešetkom. Kroz otvore rešetke mogu zvučni valovi nesmetano izlaziti; rešetka može izdržati svako opterećenje.

Ovim završavamo razlaganje o velikim zvučnicima. Iako, naravno, nismo mogli govoriti o svim vrstama ovih zvučnika, ipak smo u različitim primjerima upoznali najvažnije predstavnike zvonastih i usmjernih zvučnika, kao i mogućnosti njihove primjene.

Ponavljanje

Velike površine mogu se jednolično ozvučiti također i *zvonastim zvučnicima*. Vrlo poznati su *gljivasti zvučnici*, koji zvučne valove emitiraju prema dolje i pokrivaju zvukom kružnu površinu promjera oko 30 m. Udaljenost između gljivastih zvučnika mora kod upotrebe 20 W-sistema iznositi 50 do 60 m, da se posvuda dobije primjerna glasnoća. Za ozvučivanje velikih površina dolaze u obzir zvučnici poredani u *obliku prstena*. Takav sistem ima na primjer pet permanentnodinamičkih zvučnika s govornom snagom po 4 W; promjer ozvučivane kružne plohe iznosi oko 60 m. Ako nadzemni zvučnici iz stanovitih razloga smetaju, tada se moraju upotrijebiti zvučnici ugrađeni u zemlju; ovi se zvučnici smještaju u betoniranu jamu, koja se radi zaštite pokriva jakom kupolastom rešetkom.

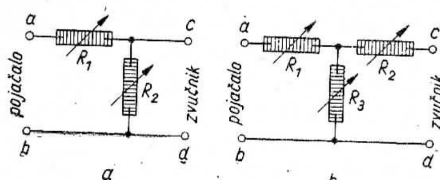
Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je gljivasti zvučnik? *Odgovor:* Zvonasti zvučnik, koji kružnu plohu promjera oko 30 m jednoliko pokriva zvukom. — *P.:* Kakav put prolaze zvučni valovi izlazeći iz gljivastog zvučnika? *O.:* Zvučni valovi polaze najprije prema gore, a zatim skreću prema dolje. — *P.* Koju dobru stranu imaju gljivasti zvučnici? *O.:* Oni omogućuju jednoliko ozvučivanje velikih površina bez pojave jeke i odjeka. — *P.:* Na što je potrebno paziti kod postavljanja gljivastih zvučnika? *O.:* Međusobna udaljenost mora iznositi 50 do 60 m; da ne bi došlo do jeke, moraju zidovi, tribine i slično od gljivastih zvučnika biti udaljeni barem 15 m. — *P.:* Kakvi još zvonasti zvučnici dolaze u obzir za ozvučivanje velikih površina? *O.:* Zvučnici poredani u obliku prstena. — *P.:* Kako su građeni ovakvi zvučnici? *O.:* Više (na primjer pet) permanentnodinamičkih zvučnika poredano je u obliku prstena. — *P.:* Što se može učiniti, ako postavljeni zvučnici i stupovi za zvučnike smetaju? *O.:* Upotrebljavaju se zvučnici smješteni u zemlju. — *P.:* Kako je smješten ovakav zvučnik? *O.:* U betoniranu jamu. Gornja strana ovog zvučnika pokrivena je jakom kupolastom zaštitnom rešetkom.

Reguliranje glasnoće kod zvučnika

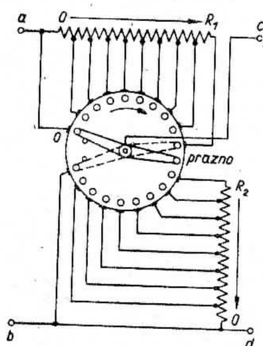
76. — Kod prijenosnih uređaja, koji rade s više zvučnika različite snage, često je potrebno regulirati glasnoću. To je slučaj, kada se zvučnici nalaze u prostorijama različite veličine, a i na slobodnom prostoru. Pri tome se postavlja zahtjev da se reguliranje vrši s jednog centralnog mjesta, da ne uzrokuje izobličenje i da ne utječe na druge zvučnike. Takva regulacija ne može se besprijekorno izvesti s običnim po-

tenciometrima; potrebno je naime ispuniti slijedeće uvjete: 1. Reguliranje jednog ili više zvučnika ne smije imati nikakvog utjecaja na druge zvučnike, čak ni onda kada se jedan ili više zvučnika isključe. 2. Najpovoljniji prilagodni otpor mora biti neovisan o položaju regulatora i to bilo gledano sa strane pojačala, bilo sa strane zvučnika. 3. Regulacija glasnoće mora biti prema s v o j s t v i m a u h a, dakle logaritmička. Ovi se zahtjevi mogu ispuniti upotrebom *L-regulatora* i *T-regulatora,* koji rade s dva, odnosno s tri promjenljiva otpora (sl. 74). Ove nazive imaju ovi regulatori zbog poređaja otpora u obliku obrnutog *slova L.* odnosno *slova T.*

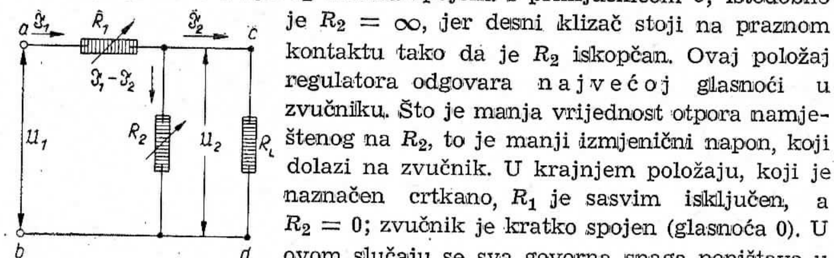


Sl. 74.

77. — *L-regulator* se sastoji od promjenljivog uzdužnog otpora R_1 i promjenljivog poprečnog otpora R_2. Oba ova otpora mijenjaju se i s t o d o b n o, i to tako, da je ukupni otpor između priključnica *a* — *b* uvijek jednako velik i jednak prilagodnom otporu zvučnika. Kako se to u praksi može izvesti vidi se na sl. 75, u kojoj je prikazana shema L-regulatora s deset stupnjeva u spoju kao na sl. 74*a*. Odvojci otpora R_1 i R_2 priključeni su na 20-polni preklopnik. Klizači su spojeni zajedno i pričvršćeni na zajedničku osovinu; oni su namješteni tako da R_1 ima najveću vrijednost onda, kad je R_2 jednak nuli i obrnuto. U nacrtanom položaju L-regulatora je $R_1 = 0$, dakle priključnica *a* je preko *0* i lijevog klizača spojena s priključnicom *c*; istodobno je $R_2 = \infty$, jer desni klizač stoji na praznom kontaktu tako da je R_2 iskopčan. Ovaj položaj regulatora odgovara n a j v e ć o j glasnoći u zvučniku. Što je manja vrijednost otpora namještenog na R_2, to je manji izmjenični napon, koji dolazi na zvučnik. U krajnjem položaju, koji je naznačen crtkano, R_1 je sasvim isključen, a $R_2 = 0$; zvučnik je kratko spojen (glasnoća 0). U ovom slučaju se sva govorna snaga poništava u otporu R_1, koji mora imati vrijednost jednaku prilagodnom otporu zvučnika i izlaznom otporu pojačala. Otpor R_1 mora, dakle, izdržati ovo opterećenje, te se mora izvesti od žice dovoljno velikog promjera!



Sl. 75.



Sl. 76.

78. — Sada ćemo izračunati gdje moraju biti odvojci na otporima R_1 i R_2, to jest kolike moraju biti vrijednosti ukopčanih otpora. Budući da reguliranje mora biti prema s v o j s t v i m a u h a (logaritmičko; vidi odsjek 11), potrebno je smanjivanje izmjeničnog napona na zvučniku vršiti po *e-funkciji.* Ovo se postiže tako, da prigušenje izmjeničnog napona raste uvijek za isti broj nepera. Prema odsjeku 17. prigušenju od 1, 2, 3 . . . Np odgovara smanjenje izmjeničnog napona, odnosno izmjenične struje, na (približno) $e^1 = 2{,}72$-struko, $e^2 = 7{,}39$-struko, $e^3 = 20{,}1$-struko itd. Označimo li sa n prigušenje (odnos struja, odnosno napona), sa $\mathfrak{U}_1$ ulazni izmjenični napon (izlazni napon pojačala), sa $\mathfrak{U}_2$ izlazni izmjenični napon (napon na zvučniku), sa $\mathfrak{J}_1$ ukupnu jakost govorne struje, sa $\mathfrak{J}_2$ jakost oslabljene govorne struje, a sa R_L prilagodni otpor zvučnika (sl. 76), tada prema zakonu grananja struje vrijedi: $R_2/R_L = \mathfrak{J}_2/(\mathfrak{J}_1 - \mathfrak{J}_2)$, dakle: $R_2 = \mathfrak{J}_2 \cdot R_L/(\mathfrak{J}_1 - \mathfrak{J}_2)$. Budući da mora biti $\mathfrak{J}_2 = \mathfrak{J}_1/n$, dobiva se:

$$R_2 = \frac{\mathfrak{J}_1}{n\left(\mathfrak{J}_1 - \dfrac{\mathfrak{J}_1}{n}\right)} \cdot R_L = \frac{\mathfrak{J}_1 \cdot n}{n \cdot \mathfrak{J}_1 (n-1)} \cdot R_L,$$

$$\boxed{R_2 = \frac{R_L}{n-1}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \textbf{(13)}$$

Kako ukupni otpor između priključnica *a* i *b* mora uvijek biti jednak R_L, a R_2 i R_L su spojeni paralelno, to dalje dobivamo:

$$R_L = R_1 + R_2 \parallel R_L = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$$

Ako iz ove jednadžbe izračunamo R_1 i zatim za R_2 uvrstimo vrijednost iz jedn. (13) tada imamo:

$$R_1 = R_L - \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L} = R_L - \frac{\dfrac{R_L}{n-1} \cdot R_L}{\dfrac{R_L}{n-1} + R_L} = R_L - \frac{R_L}{1 + n - 1}$$

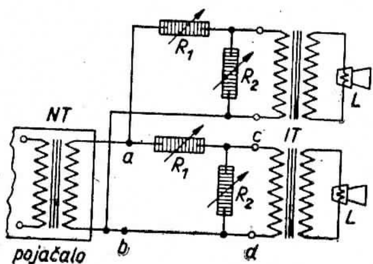
$$= R_L - \frac{R_L}{n} \quad \text{ili:}$$

$$\boxed{R_1 = R_L \left(1 - \frac{1}{n}\right)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (14)$$

Neka je na primjer $R_L = 200\ \Omega$, tada za prigušenje od 2 Np, dakle za $n = 7{,}39$ (za preračunavanje upotrijebimo jedn. (8) ili sl. 4; usporedi također odsjek 17) dobivamo: $R_2 = \frac{200}{6{,}39} = 31{,}3\ \Omega$ i $R_1 = 200 \left(1 - \frac{1}{7{,}39}\right) = 200 \cdot 0{,}865 = 173\ \Omega$. Na isti način se izračunavaju i sve ostale međuvri-

jednosti. Radi provjeravanja izračunajmo još ukupni otpor L-regulatora: $R = R_1 + R_2 \cdot R_L / (R_2 + R_L) = 173 + 31{,}3 \cdot 173/204{,}3 = 199{,}5 \approx 200\ \Omega$, to jest ukupni otpor je zaista jednak prilagodnom otporu zvučnika kao što je i potrebno.

79. — *L*-regulator je doduše jednostavan za gradnju, ali je nažalost nesimetričan. Priključnice *a* — *b* ne smiju se zamijeniti s priključnicama *c* — *d*, to jest u z d u ž n i otpor R_1 mora biti uvijek na strani p o j a č a l a! Ukupni otpor *L*-regulatora je, istina, s u l a z n e strane (od pojačala) za sve položaje jednako velik, ali se prilagođenje na zvučniku mijenja. Ovo, međutim, ima na frekventnu karakteristiku razmjerno malen utjecaj. No ako se zvučnik priključuje preko dužeg voda, tada otpor voda ima za prilagođenje veliku važnost; u takvim slučajevima mora se upotrijebiti T-regulator. Na sl. 77. vide se dva *L*-regulatora ukopčana u dva voda za zvučnike; *NT* je izlazni transformator pojačala, dok je *IT* izlazni transformator zvučnika *L*. Za praktičku gradnju *L*-regulatora i *T*-regulatora možemo još reći da općenito zadovoljava, ako se za prigušivanje od 0 do 4 Np predvidi 10 stupnjeva po 0,5 Np. Kako smo već vidjeli, mora otpor R_1 biti promjenljiv između 0 i prilagodnog otpora R_L zvučnika, odnosno pojačala, a otpor R_2 između ∞ i 0. Vrijednost $R_2 = \infty$ (najveća glasnoća!) postiže se praznim kontaktom (vidi odsjek 77. i sl. 75).



Sl. 77.

Ponavljanje

Za reguliranje glasnoće kod zvučnika, uz zahtjeve, da ne nastaje izobličenje, da nema povratnog djelovanja, i da se regulacija vrši prema svojstvima uha, upotrebljavaju se *L-regulatori* i *T-regulatori*. *L*-regulator se sastoji od promjenljivog uzdužnog otpora i promjenljivog poprečnog otpora. Istodobno mijenjanje obaju otpora vrši se tako, da je ukupni otpor između ulaznih priključnica regulatora uvijek jednako velik, i to jednak izlaznom otporu pojačala. Zajedno pomični klizači namješteni su tako, da uzdužni otpor ima najveću vrijednost onda, kada je poprečni otpor jednak nuli, i obrnuto. Da reguliranje glasnoće bude prema svojstvima uha, mora se izmjenični napon na zvučniku smanjivati po e-funkciji. Općenito zadovoljava, ako se predvidi prigušenje od 0 od 4 Np, i to u 10 stupnjeva po 0,5 Np. Za proračunavanje uzdužnih i poprečnih otpora vrijede posebne jednadžbe. Kod *L*-regulatora je ukupni otpor samo na ulaznoj strani (od pojačala) jednako velik za sve položaje klizača, prilagođenje na zvučnik se, međutim, mijenja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakvi uvjeti se stavljaju na regulator, kojim se regulira glasnoća reprodukcije preko zvučnika? *Odgovor:* Regulator ne smije povratno djelovati, ulazni i izlazni otpor mu mora biti jednak najpovoljnijem prilagodnom otporu, regulacija mora odgovarati svojstvima uha. — *P.:* Koje vrste regulatora dolaze u obzir kod zvučnika? *O.:* *L*-regulator i T-regulator. — *P.:* Kako je građen L-regulator? *O.:* On se sastoji od promjenljivog uzdužnog i poprečnog otpora. — *P.:* Kako se vrši reguliranje L-regulatorom? *O.:* Okretanjem osovine na koju su pričvršćena dva međusobno spojena klizača. — *P.:* U kojem smislu se mijenjaju otpori kod L-regulatora? *O.:* Kad uzdužni otpor ima najvišu vrijednost, mora poprečni otpor biti jednak nuli, i obratno. — *P.:* Kolika mora biti ova najviša vrijednost? *O.:* Mora biti jednaka prilagodnom otporu pojačala, odnosno zvučnika. — *P.:* Na što treba naročito paziti kod dimenzioniranja uzdužnog otpora? *O.:* Uzdužni otpor mora izdržati opterećenje koje odgovara najvećoj govornoj snazi zvučnika. — *P.:* Kako se postiže ispravno reguliranje glasnoće prema svojstvima uha? *O.:* Prigušivanje izmjeničnog napona mora se vršiti po *e*-funkciji, to jest uvijek za isti broj nepera. — *P.:* Koje područje prigušivanja općenito zadovoljava? *O.:* Od 0 do 4 Np, i to u 10 stupnjeva po 0,5 Np. — *P.:* Kakav nedostatak ima L-regulator? *O.:* On drži konstantnim samo prilagodni otpor pojačala, ali ne i prilagodni otpor zvučnika.

Pitanja

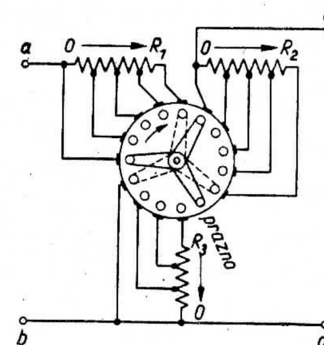
26. Koje smo vrste zvučnika upoznali za razglas na slobodnom prostoru?

27. Na što je potrebno paziti kod priključivanja L-regulatora na vod za zvučnik?

Zadaci

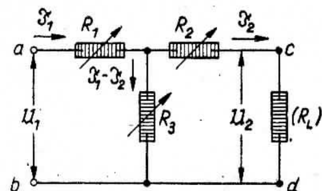
20. Na neko pojačalo s opteretnim otporom od 200 oma potrebno je preko L-regulatora s 10 stupnjeva priključiti dinamički zvučnik; regulator ima jedan prazni kontakt i treba da prigušuje u području od 0 do 4 Np sa stupnjevima po 0,5 Np. a) Koliki mora biti prilagodni otpor zvučnika? b) Koliki moraju biti odgovarajući uzdužni i poprečni otpori kod različitih položaja regulatora? c) Nacrtaj uzdužne i poprečne otpore pojedinačno i unesi vrijednosti otpora između odvojaka! d) Provjeri ukupni otpor na ulaznoj strani za prigušenje od 3 Np!

80. — *T-regulator* se sastoji, kao što se vidi na sl. 74b), od dva jednaka promjenljiva uzdužna otpora R_1, R_2 i promjenljivog poprečnog otpora R_3. Budući da je T-regulator suprotno L-regulatoru građen s i m e t r i č n o, smiju se priključnice *a* — *b* i *c* — *d*, dakle izlaz pojačala i zvučnik, zamijeniti. Kod T-regulatora je ukupni otpor između priključnica *a* — *b* za sve položaje jednak ukupnom otporu između priključnica *c* — *d;* ovaj otpor uvijek mora biti jednak izlaznom otporu pojačala i prilagodnom otporu zvučnika. Sva tri klizača T-regulatora nalaze se na zajedničkoj osovini. Na sl. 78. vidi se praktička izvedba T-regulatora s pet stupnjeva. Klizači su tako namješteni, da uzdužni



Sl. 78.

otpori imaju svoje najviše vrijednosti onda, kad je poprečni otpor jednak nuli, i obrnuto. U nacrtanom početnom položaju je $R_1 = R_2 = 0$; priključnica a je, dakle, preko 0 i preko oba gornja klizača spojena s priključnicom c. Istodobno je $R_3 = \infty$, jer donji klizač stoji na praznom kontaktu. U ovom položaju regulatora zvučnik radi s najvećom glasnoćom. Što se dalje klizači okreću nadesno, to se sve više uzdužni otpori R_1 i R_2 ukapčaju kao opteretni otpori, dok se poprečni otpor R_3 sve više smanjuje, te glasnoća postaje sve manja. U krajnjem položaju T-regulatora, koji je nacrtan crtkano, ukopčani su otpori R_1 i R_2 sasvim, a $R_3 = 0$; kako je u ovom položaju regulatora zvučnik kratko spojen, to je glasnoća jednaka nuli. Prigušivanjem, dakle, uzdužni otpori (kao i kod L-regulatora) rastu od 0 do $R_1 = R_2 = (R_a = R_L)$, a poprečni otpor R_3 opada od ∞ do 0.



Sl. 79.

81. — Kod proračunavanja T-regulatora polazimo, kao i kod L-regulatora, od zahtjeva, da opadanje jakosti izmjenične struje, odnosno izmjeničnog napona, ide po e-funkciji, dakle u jednakim iznosima nepera (vidi odsjek 78). Nadalje, mora u svakom položaju regulatora otpor između priključnica a — b, odnosno c — d, imati propisanu vrijednost $R = R_L$. Uz iste oznake kao u odsjeku 78, dobiva se iz sl. 79. po Ohmovom zakonu: $\mathfrak{U}_1 = \mathfrak{I}_1 \cdot R_a = \mathfrak{I}_1 \cdot R_L = \mathfrak{I}_1 \cdot R_1 + (\mathfrak{I}_1 - \mathfrak{I}_2) R_3$. Budući da mora biti $\mathfrak{I}_2 = \mathfrak{I}_1 / n$ ($n = \mathfrak{I}_1/\mathfrak{I}_2$ = faktor prigušenja), to dobivamo: $\mathfrak{I}_1 \cdot R_L = \mathfrak{I}_1 \cdot R_1 + (\mathfrak{I}_1 - \mathfrak{I}_1/n) \cdot R_3$, dakle: $R_L = R_1 + (n - 1) \cdot R_3/n$, i iz ovoga: $R_3 = n \cdot (R_L - R_1) / (n - 1)$.

Prema zahtjevu mora biti $R_a = R_L = R_1 + R_3 \parallel (R_2 + R_L)$ i $R_1 = R_2$; odavle je: $R_L = R_1 + R_3 (R_1 + R_L) / (R_3 + R_1 + R_L)$. Uvrstimo li ovamo prije izračunanu vrijednost za R_3 tada dobivamo:

$$R_L = R_1 + \frac{\frac{n}{n-1} (R_L - R_1) \quad (R_1 + R_L)}{\frac{n}{n-1} (R_L - R_1) + (R_1 + R_L)}$$

$$R_L = R_1 + \frac{n (R_L - R_1) \; (R_1 + R_L)}{n (R_L - R_1) + (n - 1) \; R_1 + R_L}$$

$$R_L - R_1 = \frac{n (R_L - R_1)}{2n \, R_L - R_L - R_1}$$

Skraćivanjem sa $(R_L - R_1)$ i rješavanjem jednadžbe dobiva se:
$2n \, R_L - R_L - R_1 = n \, R_1 + n \, R_L$, odavle: $(n + 1) \, R_1 = (n - 1) \; R_L$, ili:

$$\boxed{R_1 = \frac{n-1}{n+1} \cdot R_L = R_2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (15)$$

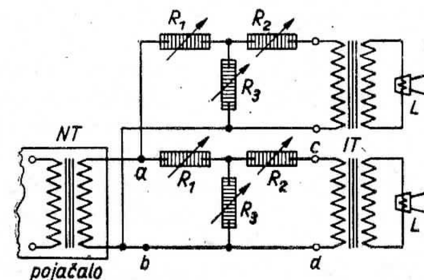
Sada uvrstimo jedn. (15) u gornji izraz za R_3:

$$R_3 = \frac{n}{n-1} \left(R_L - \frac{n-1}{n+1} R_L \right) = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{n + 1 - n + 1}{n+1} R_L, \text{ ili:}$$

$$\boxed{R_3 = \frac{2n}{n^2 - 1} R_L} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (16)$$

Ako je na primjer $R_L = 200 \; \Omega$, $n = 7{,}39 \triangleq 2$ Np (kao u odsjeku 78), tada je: $R_1 = R_2 = 6{,}39 \cdot 200/8{,}39 \approx 152 \; \Omega$ i $R_3 = 14{,}78 \cdot 200/53{,}6 = 55{,}2 \; \Omega$. S ovim vrijednostima dobiva se ukupni otpor T-regulatora:
$R = R_1 + R_3 (R_1 + R_L) / R_3 + R_1 + R_L) = 152 + 55{,}2 \cdot 352 / 407{,}2 = 199{,}7 \; \Omega \approx 200 \; \Omega$. Ukupni otpor je, dakle, zaista jednak prilagodnom otporu zvučnika.

82. — Budući da je kod T-regulatora, kako na ulazu (pojačalo), tako i na izlazu (zvučnik), ukupni otpor za sve položaje regulatora isti, T-regulator zadovoljava i najveće zahtjeve s obzirom na regulaciju bez izobličenja. No ako zvučnik nema suviše dug vod, većinom zadovoljava i jednostavni L-regulator. Na sl. 80, se vidi, kako su dva zvučnika, preko dva T-regulatora, priključena na pojačalo (usporedi sl. 77). Konačno ćemo još spomenuti da se L-regulatori i T-regulatori mogu na isti način priključiti i na u l a z pojačala, i to bilo iza električke zvučnice ili mikrofona, bilo između pretpojačala i glavnog pojačala nekog razglasnog uređaja. Područje prigušivanja kod normalnih L-regulatora, odnosno T-regulatora, je između 0 do 3 ili 4 Np, a otpor između 5 Ω i 5 kΩ.



Sl. 80.

Ponavljanje

T-regulator se sastoji od simetričnog spoja dvaju jednako velikih promjenljivih uzdužnih otpora i jednog promjenljivog poprečnog otpora. Otpor između ulaznih priključnica kod T-regulatora je u svakom položaju jednak otporu između izlaznih priključnica. Otpori T-regulatora se mijenjaju tako, da uzdužni otpori imaju svoje najviše vrijednosti onda, kada je poprečni otpor jednak nuli, i obrnuto. Za proračunavanje uzdužnih i poprečnih otpora upotrebljavaju se posebne jednadžbe. Ukupni otpor T-regulatora mora uvijek biti jednak prilagodnom otporu zvučnika i izlaznom otporu pojačala. L-regulatori i T-regulatori mogu se upotrijebiti također u ulaznom krugu pojačala, i to bilo iza električke zvučnice ili mikrofona, bilo između pretpojačala i glavnog pojačala nekog razglasnog uređaja.

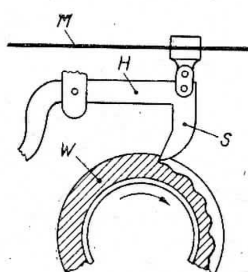
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je građen T-regulator? *Odgovor:* On se sastoji od dva jednaka promjenljiva uzdužna otpora i jednog promjenljivog popre-

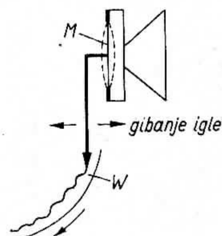
čnog otpora. — *P.:* Kakvu prednost ima T-regulator pred L-regulatorom? *O.:* Budući da je T-regulator spojen simetrično, smije se ulazni par priključnica zamijeniti s izlaznim parom. — *P.:* Kakav se zahtjev stavlja na T-regulator s obzirom na njegov ukupni otpor? *O.:* Ukupni otpor između ulaznih i izlaznih priključnica mora u svakom položaju regulatora biti jednako velik, i to jednak prilagodnom otporu zvučnika, odnosno opteretnom otporu pojačala. — *P.:* Kako se mijenjaju otpori T-regulatora? *O.:* Kod prigušivanja rastu uzdužni otpori od 0 do svoje najviše vrijednosti, dok istodobno poprečni otpor opada od ∞ do 0.

Općenito o tehnici snimanja zvuka na ploče

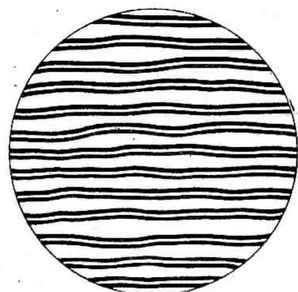
83. — Razvitkom radiodifuzije dobila je *tehnika snimanja ploča* neslućen polet. Stari m e h a n i č k i načini snimanja i reprodukcije zamijenjeni su *električkim* načinima. Iskorištavajući nove izume na području elektroakustike, uspjelo je proizvoditi gramofonske ploče u takvoj kvaliteti, da se je dobila besprijekorna umjetnička reprodukcija zvuka. Prije nego prijeđemo na moderne električke metode snimanja i reprodukcije, ukratko ćemo se pozabaviti starim mehaničkim metodama, kao i najvažnijim svojstvima gramofonske ploče. Prvo snimanje zvuka izveo je *Edison* (1877) svojim *fonografom.* Kod fonografa satni mehanizam jednoliko okreće valjak *W*, koji je prevučen slojem voska (sl. 81). Ispred valjka nalazi se membrana *M* od tinjca ili stakla. Na sredinu membrane je pomoću polužnog sistema *H* učvršćen oštar nož za urezivanje, *S*. Nož dodiruje valjak i urezuje u njemu fine brazde. Kako bi se ove brazde redale kao kod vijka jedna pored druge oko cijelog valjka, potrebno je, da se membrana s uređajem za rezanje pokreće polagano u stranu paralelno osi valjka. Ako se govori u lijevak (koji nije nacrtan), membrana titra gore-dolje. Tako se nož za rezanje, sad više, sad manje, utiskuje u voštani sloj, kako se to jasno vidi na sl. 81. Na taj način nastaje takozvani *dubinski rez.* Želimo li sada u vosku urezane titraje reproducirati, potrebno je nož za rezanje zamijeniti iglom kuglastog vrška. Kad se valjak okreće, vrši igla titraje, koji odgovaraju urezanim brazdama. Na



Sl. 81.



Sl. 82.


Sl. 83.

isti način titra i membrana *M* i preko lijevka emitira zvuk u prostor. Kasnije se s dubinskog reza prešlo na *bočni rez* (po izumitelju nazvan također *Berlinerov rez).* Kod ovog stoji membrana *M* (sl. 82) okomito na voštanu ploču *W*, koja se jednoliko vrti. Nož za rezanje *S*, koji je pričvršćen na membranu, izvodi b o č n e titraje i u voštanu ploču urezuje odgovarajuće brazde. Bočni rez se još i danas općenito upotrebljava. Promatramo li običnu gramofonsku ploču povećalom, jasno ćemo vidjeti krivudave brazde (sl. 83). Za s n i m a n j e na ploče i danas se upotrebljavaju ploče od voska. Pomoću ovih se, međutim, proizvode nama svima poznate crne gramofonske ploče. Ove ploče se sastoje uglavnom od š e l a k a[9]) uz dodatak nekog veznog sredstva (azbestnog vlakna), starog matreijala (polupanih ploča, nekih mineralnih tvari, škriljevca, magnezijeve krede, tešca) i materijala koji daju boju (čađa).

84. — Budući da mehanički način snimanja ploča nije dovoljno osjetljiv, morali su se nekada pjevači i samo mali orkestri natisnuti pred velikim lijevkom. Tada nije bilo moguće da se veći orkestri, orgulje, zborovi itd. snime u boljoj kvaliteti. Osim toga je veliki lijevak unosio u snimke štetne rezonantne pojave, a mehanički rezač nije uopće urezivao niske i visoke frekvencije. Nekadanje ploče imale su neugodni »gramofonski ton« i bile su većinom jedva razumljive. Kod e l e k t r i č k o g načina snimanja zvučne valove primaju kvalitetni mikrofoni. Na ovaj način dobiveni izmjenični naponi pojačavaju se u pojačalima i konačno dovode električkim rezačima. Rezač ovdje nije dakle istodobno i organ za snimanje. Zvučni valovi se prenose isključivo preko mikrofona, te se mogu dobro snimiti i najniže glasnoće, kao i odjek, koji je tako važan u velikim prostorijama. Danas je moguće snimiti frekvencije do 8 000 Hz, štaviše i do 10 000 Hz. Električka reprodukcija gramofonskih ploča pomoću električkih zvučnica i pojačala ima daljnju prednost da se dotična izvedba može preniieti u bilo kojoj glasnoći. Osim toga može se glasnoća po volji regulirati jednostavnim regulatorom. Na koncu ćemo još spomenuti, da se ploče uz upotrebu električke zvučnice mnogo manje troše nego kod mehaničke reprodukcije.

Ponavljanje

Tehnika snimanja gramofonskih ploča dobila je uvođenjem radiodifuzije i razvitkom elektroakustike golem polet. Tek primjenom **e l e k t r i č k o g načina snimanja i reprodukcije uspjelo je da se ploče s obzirom na umjetničku vrijednost proizvode u besprijekornoj kvaliteti.** Najstariji m e h a n i č k i način snimanja i reprodukcije zvuka izvršen je ***Edisonovim fonografom.*** **Kod ovog načina je uređaj za rezanje** istodobno i organ za snimanje. Najstariji uređaji za snimanje upotrebljavali su *dubinski rez.* Kod ovog je nož za rezanje urezivao dublje ili plíće brazde na v a l j k u, koji je imao prevlaku od voska. Danas se upotrebljava *bočni rez (Berlinerov rez),* kod kojeg se brazde urezuju u voštanu p l o č u. Na stari, mehanički način snimanja, nije bilo mogu-

[9]) Šelak je životinjski produkt, koji u Indiji nastaje na drveću prilikom izmjene tvari nekih insekata.

će snimiti veće orkestre, zborove, itd.; osim toga je kvaliteta reprodukcije bila sasvim niska, jer nisu bile ispravno snimljene niske i visoke frekvencije. **Električki** način snimanja i reprodukcije omogućuje da se vjerno snimi i reproducira govor i muzika. Nadalje se može glasnoća po volji regulirati. Kod reprodukcije pomoću električkih zvučnica ploče se mnogo više štede nego kod mehaničkih načina.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Na koji način su snimljene i kako su reproducirane prve gramofonske ploče? *Odgovor:* Na posve mehanički način. — *P.:* Koji uređaj je prvi gramofonski uređaj? *O.:* Edisonov fonograf. — *P.:* Kako se je kod njega vršilo snimanje zvuka? *O.:* Nož za rezanje, koji je bio spojen s membranom, urezivao je u vosak dublje ili pliće brazde. — *P.:* Kako je nazvan ovakav rez? *O.:* Dubinski rez. — *P.:* Kakav se rez danas upotrebljava? *O.:* Bočni rez (Berlinerov rez). — *P.:* U čemu je razlika između bočnog reza i dubinskog reza? *O.:* Kod bočnog reza su brazde spiralno urezane jedna pokraj druge na voštanu ploču; zvučni valovi ne uzrokuju udubljenja, nego bočno krivljenje brazda. — *P.:* Kada su bočne amplitude razmjerno malene? *O.:* Kod malih glasnoća. — *P.:* Kako se vrši snimanje zvuka kod električkog postupka? *O.:* Kao i u pogonu radiodifuznih stanica, pomoću mikrofona i pojačala; uređaj za snimanje ne radi dakle istodobno i kao organ za snimanje. — *P.:* Kakve naročite prednosti ima električko snimanje i električka reprodukcija? *O.:* Pomoću njih je omogućeno besprijekorno snimanje i reproduciranje govora i muzike sviju vrsta, jednostavno reguliranje glasnoće i štednja ploča kod reprodukcije.

Pitanja

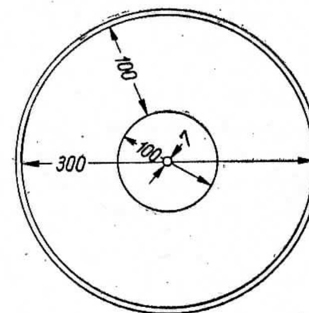
28. Gdje se primjenjuju L-regulatori i T-regulatori?
29. Od čega se prave obične gramofonske ploče?

Zadaci

21. Na pojačalo s opteretnim otporom od 140 oma potrebno je priključiti usmjerni zvučnik s prilagodnim otporom od također 140 oma. Između pojačala i zvučnika neka je priključen T-regulator s pet stupnjeva; ovaj T-regulator ima jedan prazan kontakt, a područje prigušivanja mu je od 0 do 3 Np, sa stupnjevima po 1 Np. a) Koliki moraju biti uzdužni i poprečni otpori kod različitih položaja regulatora? b) Nacrtaj uzdužne i poprečne otpore pojedinačno i unesi odgovarajuće vrijednosti otpora između odvojaka! c) Provjeri ukupni otpor regulatora za prigušenje od 2 Np!

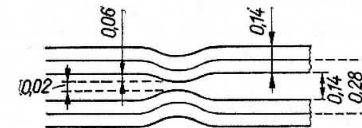
Elektroakustička svojstva gramofonske ploče

85. — Kako bi se mogao razumjeti postupak električkog snimanja i reprodukcije ploča, bezuvjetno je potrebno da se najprije upoznamo s najvažnijim elektroakustičkim svojstvima gramofonske ploče. Kao što već znamo iz odsjeka 83. i 84, danas se snimanje ploča vrši bočnim rezom u vosku. Za snimanje se upotrebljava uređaj kod kojeg elektromagnetski sistem pokreće nož za rezanje u taktu titraja govora i muzike. Osnovni elektroakustički pojmovi kod gramofonske ploče jesu: **visina tona** (frekvencija), **valna dužina** i **bočna amplituda** urezane brazde, **zatim glasnoća, broj okretaja, veličina i trajanje reprodukcije.** Zbog praktičkih razloga uz malo iznimke, *broj okretaja* običnih ploča je 78 (do 80) okretaja na minutu. Obične ploče općenito imaju *promjer* od kojih 300 mm, odnosno 250 mm. Uz promjer od 300 mm najduže *trajanje reprodukcije* iznosi oko 4,5 min; kroz ovo vrijeme načini ploča 4,5×78 = 351 okretaj. Prema tome, na ploči mora biti 351 brazda; razumljivo da se ne radi o pojedinačnim brazdama, nego o jednoj jedinoj brazdi koja ima oblik **spirale**. Na vanjskom opsegu imaju brazde mnogo veću duljinu nego u blizini središta ploče; u blizini središta je duljina brazda već tako malena, da nije moguće besprijekorno urezivanje zvučnih titraja. Zato se kao donja granica za unutarnji promjer uzima oko 100 mm (sl. 84). Kružna ploha promjera 100 mm ostaje, dakle, bez brazda, tako da za urezivanje stoji na raspolaganju prstenasta površina širine 100 mm. Rupa u sredini ploče, u koju ulazi gornji kraj osovine pogonskog motora, ima promjer od 7 mm.



Sl. 84.

86. — Ove odnose razjasnit ćemo još brojčanim primjerom: Tačka na vanjskoj brazdi prijeđe u sekundi put = najveća dužina brazde × × broj okretaja u sekundi = 300 $\pi \cdot 78/60 \approx$ 1 225 mm, a tačka na krajnjoj unutarnjoj brazdi samo put od $\approx$ 408 mm u sekundi. Prema tome ton od 1 000 Hz urezuje u krajnjoj vanjskoj brazdi val dužine $\approx$ $\approx$ 1 225/1 000 = 1,225 mm, a u krajnjoj unutarnjoj brazdi val dužine $\approx$ $\approx$ 0,408 mm; kod tona od 10 000 Hz na krajnjoj unutarnjoj brazdi iznosi dužina vala samo $\approx$ 0,041 mm! Ovaj ton upravo se još može reproducirati najšiljastijim iglama. Radijus zakrivljenja urezane krivulje mora, naime, biti veći, ili najmanje jednak radijusu zakrivljenja, koji ima vrh igle, pa da igla može slijediti zakrivljenja brazde i da pri tome iz brazde ne iskoči.

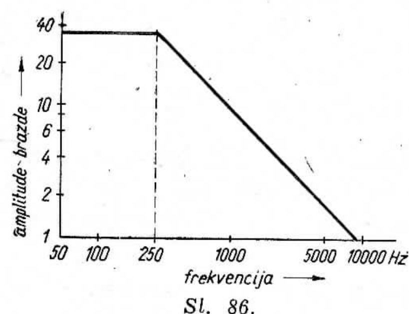


Sl. 85.

87. — Kako prema odsjeku 85. i sl. 84. na plohu široku 100 mm dolazi 351 brazda, mora razmak između dviju brazda biti 100/351 $\approx$ 0,28 mm (sl. 85). U ovaj razmak mora se smjestiti sama brazda, njezine amplitude i maleni međurazmak dovoljno velike širine, da kod velikih amplituda ne bi brazda ulazila u brazdu. Zbog sigurnog vođenja igle iznosi širina brazde kod običnih gramofonskih ploča prosječno oko 0,14 mm, uz dubinu brazde od najma-

nje 0,10 mm. Uz pretpostavku da sigurnosni međurazmak iznosi 0,02 mm, tada za amplitude pojedinih brazda ostaje još samo 0,06 mm. Ovo je veličina koja već odgovara debljini ljudske vlasi i iskorištava se samo kod najvećih glasnoća; prosječne amplitude su znatno manje! Ovo je zaista začudna činjenica, ako pomislimo, da je u ovim sitnim amplitudama sadržana cijela snaga nekog orkestra!

88. — Izmjenični napon koji daje elektromagnetska zvučnica, proporcionalan je *brzinskoj amplitudi* igle, to jest produktu amplitude brazde i kružne frekvencije (usporedi odsjek 8. i 89). Ako je, dakle, potrebno, da se kod reprodukcije ploča sa savršenom elektromagnetskom zvučnicom, dobije pravocrtni frekventni tok, tad se mora snimati s konstantnom brzinskom amplitudom, to jest amplituda brazde mora kod jednake (fizikalne) jakosti zvuka o p a d a t i s porastom kružne frekvencije, odnosno frekvencije. Obrnuto, ovo znači da n i s k i m tonskim frekvencijama pripadaju v e l i k e amplitude brazda. Ako je na primjer kod frekvencije 50 Hz amplituda brazde 0,006 mm, onda kod 500 Hz padne na 0,006 mm, a kod 5 000 Hz čak na 0,0006 mm, ili rečeno drugačije: da bi se kod frekvencije 50 Hz dobila ista brzinska amplituda kao kod frekvencije 5 000 Hz, moraju se amplitude brazda odnositi kao 0,060 : 0,0006 = = 100 : 1. Ovo se u praksi ne može provesti, jer bi tada kod niskih frekvencija brazde prelazile jedna u drugu; s druge strane ne bi se najviše frekvencije mogle dobro urezati, jer bi amplitude brazda bile već tako malene, da bi njihova veličina odgovarala zrnatosti materijala ploče! Da se ovo izbjegne, snima se danas tako da se *tonske frekvencije ispod kojih 250 Hz snimaju s konstantnim amplitudama brazda.* Frekvencije iznad 250 Hz snimaju se, međutim, kao što je već rečeno, s k o n s t a n t n i m b r z i n s k i m a m p l i t u d a m a (sl. 86). Ovo uzrokuje zapostavljanje niskih frekvencija što se mora u uređaju za reprodukciju korigirati filtrima (vidi odsjek 108. i dio II, odsjek 137) ili upotrebom kristalne zvučnice (vidi odsjek 94). Prednost ovog načina je u tome da se sada *dinamika,* to jest odnos amplituda brazda, koje uzrokuju štetni šumovi, prema najvećim tonskim amplitudama brazda (kod 1 000 Hz), može povisiti na pet puta veću vrijednost. Time se dobivaju pet puta veće amplitude kod visokih frekvencija, što znači da se bitno smanjuje šum igle kod reprodukcije. Dinamika kod običnih gramofonskih ploča iznosi oko 36 do 38 db, što odgovara odnosu amplituda od kojih 60 do 80.



Sl. 86.

Ponavljanje

B r o j o k r e t a j a je kod običnih *gramofonskih ploča* 78 (do 80) u minuti, p r o m j e r obično 300 mm, odnosno 250 mm, a t r a j a n j e r e p r o d u k c i j e ploče od 300 mm oko 4,5 min. Kako bi se još dobro mogle prenijeti i visoke frekvencije, ne smije krajnja unutarnja brazda imati promjer manji od kojih 100 mm. Širina brazde iznosi oko 0,14 mm, a dubina najmanje 0,10 mm. Ako sigurnosni međurazmak ima širinu od kojih 0,02 mm, tada najveće amplitude brazda ne smiju prelaziti 0,06 mm da brazde ne bi ulazile jedna u drugu. Budući da je kod elektromagnetske zvučnice izmjenični napon razmjeran b r z i n s k o j a m p l i t u d i, snimaju se gramofonske ploče s konstantnim brzinskim amplitudama. Prema tome su amplitude brazda to veće, što je tonska frekvencija niža. Da bi se mogla povisiti dinamika i besprijekorno urezati visoke frekvencije, snimaju se frekvencije ispod 250 Hz s konstantnim amplitudama brazda. Ovim uzrokovano zapostavljanje niskih frekvencija može se korigirati posebnim korektorima ili upotrebom kristalne zvučnice. D i n a m i k a kod običnih gramofonskih ploča iznosi oko 36 do 38 db.

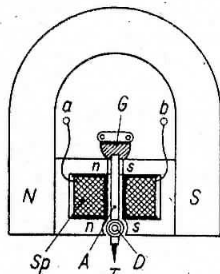
Pitanja i odgovori

Pitanje: Koliki je broj okretaja i promjer kod običnih gramofonskih ploča? *Odgovor:* Broj okretaja je većinom 78 okr./min, a promjer ploče obično 300 mm, odnosno 250 mm. — *P.:* Zašto je snimanje visokih frekvencija prema sredini ploče sve nepovoljnije? *O.:* Zato što je obodna brzina brazde s manjim promjerom također manja; time se smanjuje i valna dužina urezanih titraja. — *P.:* Koji najmanji promjer smije imati krajnja unutarnja brazda? *O.:* Oko 100 mm. — *P.:* Koliki je prosječni razmak između dviju brazda kod obične ploče? *O.:* Oko 0,28 mm. — *P.:* Kolika je širina i dubina brazde? *O.:* Širina je oko 0,14 mm, a dubina najmanje 0,10 mm. — *P.:* Kolika smije biti najveća amplituda brazde? *O.:* Ne veća od 0,06 mm. — *P.:* Zašto se gramofonske ploče snimaju s konstantnom brzinskom amplitudom? *O.:* Zato, što je izmjenični napon, koji daje elektromagnetska zvučnica, razmjeran brzinskoj amplitudi. — *P.:* Što iz ovoga slijedi s obzirom na veličinu amplituda brazda? *O.:* S opadanjem frekvencije amplitude brazda postaju sve veće. — *P.:* Kakav nedostatak postoji u vezi s ovim? *O.:* Amplitude brazda kod visokih frekvencija suviše su malene. — *P.:* Kako se ovo može izbjeći? *O.:* Tako, da se frekvencije ispod 250 Hz ne snimaju više s konstantnom brzinskom amplitudom, nego s konstantnim amplitudama brazda. — *P.:* Kako se može korigirati ovim uzrokovano zapostavljanje niskih frekvencija? *O.:* Korektorom ili kristalnom zvučnicom. — *P.:* Kakva se prednost dobiva time što su niske frekvencije kod snimanja zapostavljene? *O.:* Znatno se povisuje dinamika; ovo naročito dobro dolazi kod snimanja visokih frekvencija.

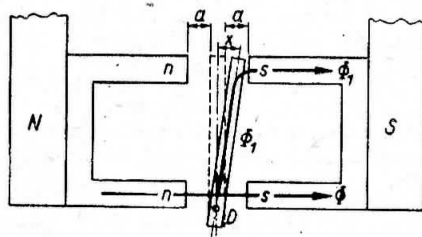
Električka zvučnica

89. — Pomoću igle, koja slijedi krivine brazda, pretvara *električka zvučnica* (ili *gramofonska doza)* mehaničke titraje u električke titraje i to vjerno po frekvenciji i obliku. Napon iza zvučnice pojačava se u niskofrekventnom pojačalu i na koncu privodi zvučniku (vidi dio II, odsjek 63. i sl. 50). Iz ovoga slijedi da električke zvučnice rade upravo obrnuto od zvučnika; s druge strane je također svaki zvučnik kadar da mehaničke titraje (govorenje u membranu zvučnika) pretvara, u električke tit-

raje. Postoje *elektromagnetske, elektrodinamičke* i *piezoelektričke zvučnice,* dok *elektrostatske zvučnice* nemaju praktičkog značenja. Najprije ćemo govoriti o zvučnici, koja se najviše upotrebljava, a to je *elektromagnetska zvučnica.* Ovdje razlikujemo kao i kod zvučnika dvopolne, četvoropolne sisteme i sisteme sa slobodnim titranjem. Na sl. 87. kao primjer vidimo osnovnu konstrukciju elektromagnetske zvučnice. U magnetskom polju permanentnog magneta N — S, koji ima polne nastavke n — n i s — s, i koji je građen od visokokvalitetnog magnetskog čelika, nalazi se kotva od mekog željeza A. Kotva se može okretati oko tačke D; ona ima vijak za učvršćenje igle T. Radi prigušivanja i vraćanja kotve u položaj mirovanja smještena je kotva gornjim svojim krajem u gumu G. U položaju mirovanja kotve prolazi magnetski tok Φ kroz donji i gornji kraj kotve u smjeru od n prema s. U uzdužnom smjeru kotve nema nikakvog magnetskog toka, jer se gornji i donji djelomični tok, koji prolaze kroz kotvu, međusobno poništavaju. No, ako sada igla slijedi brazde ploče koja se vrti, tada i kotva mehanički titra. Zbog toga u kotvi nastaju p r o m j e n e toka. Već prema položaju kotve prolazi kroz kotvu veći ili manji djelomični tok Φ_1 (sl. 88). Prema zakonu indukcije proizvode promjene toka u zavojnici Sp izmjenični napon U. Ovaj napon, koji se dobiva na priključnicama a — b, kod m a l e n i h amplituda kotve x razmjeran je magnetskom toku i frekvenciji. Iz izvoda, u koji ovdje nećemo ulaziti, dobiva se za e f e k t i v n i izmjenični napon jednadžba:



Sl. 87.



Sl. 88.

$$U_{ef} = 4{,}44 \cdot w \cdot f \cdot \Phi_m \cdot \frac{x_m}{2\,a} \cdot 10^{-8}\ [V_{ef}] \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Ovdje je w broj zavoja zavojnice, f frekvencija kotve u [Hz], Φ_m najveći magnetski tok u [M] (maksvelima), x_m najveća amplituda kotve u [mm], dok je a širina uzdušnog raspora u [mm] — usporedi dio I, jedn. (11). Iz jedn. (17) vidimo da je izmjenični napon U_{ef} razmjeran također produktu $f \cdot x_m$. Izraz $x_m \cdot 2\pi f = x \cdot \omega$ je otprije poznata *brzinska amplituda* (vidi odsjek 88); ona nije ništa drugo nego najveća brzina v_m kotve pri prolazu kroz položaj mirovanja (srednji položaj). Prema tome možemo reći, da je *izmjenični napon, koji proizvodi elektromagnetska zvučnica, razmjeran brzinskoj amplitudi kotve* (vidi odsjek 88).

90. — K o t v a električke zvučnice mora biti što lakša da bi mogla slijediti i visoke tonske frekvencije. Tačka, oko koje se okreće kotva, mora biti što bliže težištu cijele kotve. Osovina kotve može imati cilindrične ili šiljaste krajeve, koji ulaze u odgovarajuće ležaje. Postoje i drugi načini učvršćivanja kotve, no ovdje u to nećemo ulaziti. Često kotva uopće nema određenu rotacionu tačku, nego leži potpuno u mekoj gumi; u takvom slučaju kotva izvodi sastavljeno rotaciono i paralelno gibanje. Nadalje je s obzirom na rad bez izobličenja važno da kotva titra iz simetričnog položaja. Ovo se odnosi kako na mehaničku, tako i na magnetičku simetriju. Magnetički položaj mirovanja kotve mora se podudarati s mehaničkim položajem mirovanja. Kotva se može ispravno namjestiti pomoću gume G (sl. 87). Ova guma istodobno djeluje i kao prigušivač, jer ublažava nepoželjne vlastite titraje kotve. Također od ove gume dobiva kotva potrebnu *povratnu silu.* Ova sila mora biti veća od magnetske sile koja pokreće kotvu, i ona vraća kotvu uvijek u položaj mirovanja, dakle u položaj stabilne ravnoteže; inače bi se moglo dogoditi da se kotva »prilijepi« na polne nastavke. Što je povratna sila manja, to je kotvu lakše pokretati, i toliko manje igla za reprodukciju oštećuje brazde. Kod obične elektromagnetske zvučnice povratna sila je prosječno oko 100 g i manje, i to uz amplitudu igle od 0,08 mm. Sila, kojom zvučnica preko vrška igle tlači ploču *(pritisak igle),* mora biti tako velika, da igla ne iskoči iz brazde; ova sila se kod običnih zvučnica kreće između 30 g i kojih 200 g. Kad bi ovaj pritisak bio suviše velik, brazde ploče bi se brzo istrošile i ploča bi ubrzo postala neupotrebljiva. Uz premalen pritisak zvučnice lako bi moglo doći do loše reprodukcije dubokih tonova, jer u ovom slučaju ne titra samo kotva, nego i cijela zvučnica. Dobre elektromagnetske zvučnice daju izmjenični napon od nekoliko desetinki volta i prenose dosta jednolično frekventno područje od kojih 50 do 7 000 Hz.

Ponavljanje

Električka zvučnica pretvara mehaničke titraje igle za reprodukciju u odgovarajuće električke titraje. Kod *elektromagnetske zvučnice* nalazi se u magnetskom polju kotva, koja time što titra uzrokuje promjene magnetskog toka; zbog toga se u zavojnici, koja obuhvaća kotvu induciraju izmjenični naponi koji su razmjerni brzinskoj amplitudi kotve. Kotva elektromagnetske zvučnice mora biti što lakša. Kotvu u položaju mirovanja drži najčešće meka guma, koja istodobno djeluje i kao prigušivač. Što je p o v r a t n a s i l a kotve manja, to se lakše kotva može pokretati, i kod reprodukcije se ploča manje troši. Također i p r i t i s a k z v u č n i c e na ploču mora se ispravno odabrati; kod premalenog pritiska iskače igla iz brazde, a kod prevelikog brazde se jako troše. Elektromagnetska zvučnica daje izmjenični napon od nekoliko desetinki volta i prenosi frekventno područje obično od kojih 50 Hz do 7 000 Hz.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Do kakve pretvorbe energije dolazi kod električke zvučnice? *Odgovor:* Mehanički titraji, koje igla prenosi s ploče, pretvaraju

se u električke titraje. — *P.*: Kako radi elektromagnetska zvučnica? *O.*: Kotva, koja se nalazi u magnetskom polju, vezana je s iglom za reprodukciju i izvodi zajedno s njom mehaničke titraje; uslijed toga nastaju promjene magnetskog toka, te se u zavojnici, kroz koju prolazi kotva, induciraju izmjenični naponi. — *P.*: O čemu ovisi veličina ovog napona? *O.*: Proizvedeni izmjenični napon razmjeran je broju zavoja zavojnice, najvećem magnetskom toku i brzinskoj amplitudi kotve. — *P.*: Kako se kotva mora namjestiti? *O.*: Tako da se u položaju mirovanja nalazi u mehaničkoj i magnetičkoj simetriji. — *P.*: Što se može reći o veličini povratne sile kotve? *O.*: Kod elektromagnetskih zvučnica ona iznosi prosječno oko 100 g i manje, uz pomak igle od 0,08 mm; što je manja povratna sila kotve, to više se kod reprodukcije štede ploče. — *P.*: Koliki mora biti pritisak zvučnice na ploču? *O.*: Barem toliki da igla ne iskoči iz brazde.

Pitanja

30. Koliko brazda dolazi prosječno na 10 mm širine obične gramofonske ploče?

31. Što razumijevamo pod brzinskom amplitudom kotve kod elektromagnetske zvučnice?

32. Kako se mogu prigušiti vlastiti titraji kotve kod elektromagnetske zvučnice?

Zadaci

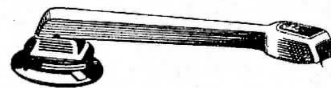
22. Neka elektromagnetska zvučnica ima zavojnicu sa 1 500 zavoja, amplitudu magnetskog toka od 4 500 M i uzdušni raspor od 0,75 mm: a) Koliki je proizvedeni izmjenični napon kod frekvencije 50 Hz i kod najveće amplitude kotve od 0,1 mm?

23. Koliki pritisak u [kg/cm^2] izdrže tonske brazde neke gramofonske ploče, ako kod bočnog otklanjanja igla dodiruje ploču na površini od 0,005 mm^2, a povratna sila kotve je 10 g?

91. — S mehaničke reprodukcije na električku reprodukciju može se najjednostavnije prijeći tako da se mehanička zvučnica zamijeni električkom. Postoje jednostavne električke zvučnice koje se mogu nataknuti na ručku mehaničkog uređaja za reprodukciju. Na sl. 89. vidi se jedna takva zvučnica; gore lijevo vidi se obujmica, kojoj se promjer može mijenjati od 18 mm do 21 mm, tako da se može prilagodi svakoj ručki. Mnogo je bolje upotrijebiti zvučnicu koja s ručkom čini cjelinu. Sl. 90. prikazuje magnetsku zvučnicu s ručkom, kojoj je u podnožje ugrađen regulator glasnoće; da se lakše mijenja igla, može se glava zvučnice okretati. S ovakvom napravom može se svaki stari gramofon pretvoriti u moderni, kvalitetni muzički uređaj. Nadalje, na sl. 91, vidimo kompletni elektromagnetski gramofonski uređaj za ugradnju u kutiju ili u ormar. Ovaj uređaj, osim elektromagnetske zvučnice s ručkom i regulatorom glasnoće (kao na sl. 90), ima električki motor s tanjurom za ploče, automatski isklopac, regulator brzine, potporanj za ručku i dvije zdjelice za igle; svi su ovi dijelovi smješteni na jednu temeljnu ploču.

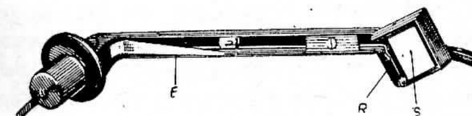


Sl. 89.

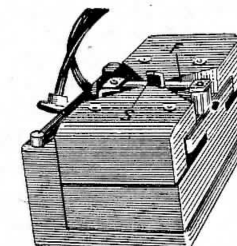

Sl. 90.


Sl. 91.

92. — Sl. 92. prikazuje elektromagnetsku zvučnicu naročito visoke kvalitete (Telefunken TO 1001). Ova zvučnica ima trajnu iglu *S* kojom se može reproducirati više od 10 000 strana gramofonske ploče promjera 300 mm. Ova trajna igla načinjena je od naročito brušenog safira, dakle od najtvrđeg dragog kamena. Pritisak zvučnice iznosi samo kojih 30 g, a povratna sila kotve samo nekih 12 g uz pomak igle od 0,1 mm (vidi odsjek 90). Zbog ovog se ploče kod reprodukcije gotovo ne oštećuju, te je njihova trajnost mnogo puta veća. Osim toga, ova zvučnica nema dijelova koji bi starili, kao na primjer prigušna guma za kotvu. Iz sl. 93. se može vidjeti kako kotvu drži žljebasta brončana opruga *F*. Na jednoj strani ove opruge nalazi se kotva (između polnih nastavaka), a na drugoj strani safirni šiljak *S*. Zbog toga što je titrajni sistem lagan, što nema čelične igle za reprodukciju, niti vijka za učvršćenje igle (vidi sl. 90), i što nema gume za prigušivanje, ova zvučnica obuhvaća jednolično i bez izobličenja tonfrekventno područje od 40 Hz do 10 000 Hz. Izmjenični napon iznosi prosječno oko 80 mV bez transformatora, a 1 do 1,5 V s posebnim transformatorom. Da se skupocjena safirna igla zaštiti od mehaničkog oštećenja ugrađen je u ručku ekscentrični valjak *R* (vidi sl. 92). Kad se zvučnica podigne, skoči valjak u početni zaštitni položaj. Tako je safirna igla zaštićena, ako se zvučnica krivo spusti. *E* je opruga koja smanjuje pritisak zvučnice, zbog čega se povećava trajnost ploča.



Sl. 92.



Sl. 93.

Ponavljanje

Zamjenom mehaničke zvučnice s električkom može se mehanički gramofon pretvoriti u kvalitetni muzički uređaj. Povoljno je upotrijebiti takvu električku zvučnicu, koja ima u ručki ugrađen regulator glasnoće. Postoje također potpuno električki gramofoni, koji uz električku zvučnicu imaju i električki motor, automatski isklopac, regulator brzine itd., sve na zajedničkoj temeljnoj ploči. Nadalje smo upoznali naročito kvalitetnu elektromagnetsku zvučnicu koja ima trajnu safirnu iglu. Ova zvučnica radi s vrlo malenim pritiskom na ploču i vrlo malenom povratnom silom kotve, tako da se ploče kod reprodukcije tek neznatno troše.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se na najjednostavniji način može mehanički gramofon pretvoriti u električki? *Odgovor:* Tako da se na ručku na mjesto mehaničke zvučnice natakne elektromagnetska zvučnica; bolje je međutim upotrijebiti zvučnicu s posebnom ručkom i ugrađenim regulatorom glasnoće. — *P.*: Koje sastavne dijelove ima potpuno električki gramofon? *O.*: Elektromagnetsku zvučnicu s ručkom i regulatorom glasnoće, električki motor s tanjurom, automatski isklopac, regulator brzine, potporanj za ručku, zdjelice za igle itd. — *P.*: Što se dobiva upotrebom safirne igle? *O.*: Može se više od 10 000 strana ploča reproducirati bez promjene igle; kako uz to nema čelične igle i vijka za pričvršćivanje igle, postaje titrajni sistem vrlo lagan, te se i najviše frekvencije mogu prenijeti besprijekorno.

93. — Zvučnice, koje se ni izdaleka toliko ne upotrebljavaju koliko elektromagnetske zvučnice, jesu *elektrodinamičke zvučnice.* Kod ovih zvučnica kotva se sastoji od niskoomske t i t r a j n e z a v o j n i c e, koja se nalazi u polju permanentnog magneta. Kako zavojnica zajedno s iglom vrši mehaničko titranje, to se u njoj induciraju izmjenični naponi. Konstrukcija elektrodinamičke zvučnice u principu odgovara konstrukciji elektrodinamičkog mikrofona (vidi odsjeke 31 i 33). Kod dobre elektrodinamičke zvučnice iznosi povratna sila kotve samo oko 15 g, uz amplitudu igle od 0,08 mm, tako da se ploče vrlo malo troše[10]) i cijelo se tonfrekventno područje prenosi jednolično i bez izobličenja. Izlazni napon zvučnice je vrlo malen; da se ovaj napon povisi, većinom se elektrodinamička zvučnica na pojačalo priključuje preko posebnog transformatora.

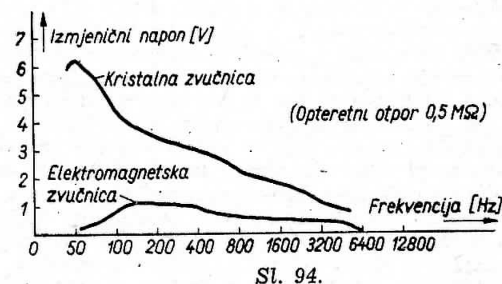
94. — Na koncu ćemo još upoznati *piezoelektričku (kristalnu) zvučnicu,* kod koje se rad osniva na piezoelektričkom efektu. Ovdje se u principu radi o istim pojavama, o kojima smo opširno govorili kod piezoelektričkih mikrofona (vidi odsjek 43). Igla je kod ove zvučnice pričvršćena na kristalni elemenat od Seignetteove soli. Zbog mehaničkih titraja koje vrši igla klizeći po brazdama ploče, kristalni elemenat se deformira, te na njegovim plohama nastaju električki naponi. Ovaj napon je razmjeran deformaciji kristala, to jest amplitudi igle, odnosno brazde; f r e k v e n c i j a nema, dakle, nikakvog utjecaja na veličinu

---

[10]) Zato je elektrodinamička zvučnica prikladna i za reproduciranje ploča od voska (na primjer u pogonu radio-stanica).

napona! Kod elektromagnetske zvučnice izmjenični napon je proporcionalan b r z i n s k o j a m p l i t u d i, to jest produktu amplitude brazde i kružne frekvencije (vidi odsjeke 88 i 89). Iz ovoga vidimo da se piezoelektrička zvučnica ponaša sasvim drugačije nego elektromagnetska zvučnica. Budući da se danas gramofonske ploče snimaju tako da se frekvencije iznad 250 Hz urezuju s konstantnom brzinskom amplitudom, a frekvencije ispod 250 Hz s konstantnom amplitudom brazde (vidi odsjek 88), to kristalna zvučnica prenosi frekvencije ispod 250 Hz približno linearno, dok je kod frekvencija iznad 250 Hz izmjenični napon prema višim frekvencijama sve manji. Iz toga slijedi da se naročita prednost jednolične reprodukcije svih frekvencija ne može kod piezoelektričke zvučnice potpuno iskoristiti, jer je današnje snimanje gramofonskih ploča prilagođeno e l e k t r o m a g n e t s k o j zvučnici.

95. — Isticanje niskih frekvencija kod kristalne zvučnice može se otkloniti korektorom. No ovo je većinom nepotrebno, jer se jačim isticanjem basova punoća reprodukcije znatno poboljšava. S druge strane mogu se, ako je to potrebno, niske frekvencije kod kristalne zvučnice oslabiti jednostavno tako da se opteretni otpor uzme znatno manji od 0,5 MΩ. Što je naime manji opteretni otpor prema kapacitivnom unutarnjem otporu (oko 0,5 MΩ) zvučnice, to je manji izlazni napon, i to naročito kod niskih frekvencija; uz opteretni otpor od kojih 0,1 MΩ praktički nestaje isticanje niskih frekvencija. I baš u ovoj mogućnosti, da se frekventna karakteristika može u širokim granicama mijenjati promjenom opteretnog otpora, leži velika prednost kristalne zvučnice. Na ovaj jednostavni način mogu se otkloniti ili barem ublažiti nesavršenosti ploča i pojačala. Dalnja prednost kristalne zvučnice je u tome, što je izlazni napon iznimno visok. Uz dovoljno velik opteretni otpor kod niskih frekvencija iznosi izlazni napon nekoliko volta, a kod visokih frekvencija oko 1 V! Na sl. 94. vidi se frekventna karakteristika kristalne zvučnice s opteretnim otporom od 0,5 MΩ, i za usporedbu također karakteristika dobre elektromagnetske zvučnice; obje karakteristike vrijede za reprodukciju običnih gramofonskih ploča.



Sl. 94.

96. — Kristalna zvučnica, koja se uostalom po svom vanjskom obliku vrlo malo razlikuje od ostalih zvučnica, nije suviše osjetljiva na nepažljivo postupanje, što joj daje veliku vrijednost kod razglasnih uređaja. Kao nedostatak kristalne zvučnice često se navodi njezina o s j e t-

ljivost na temperaturu; no u tom pogledu stvar ne stoji tako loše. Izlazni napon doduše kod srednjih i niskih frekvencija opada s porastom temperature; ali se ovaj utjecaj temperature praktički opaža tek iznad kojih 35° C. Stoga kristalnu zvučnicu ne valja izložiti suncu; no ovako valja postupiti i s gramofonskom pločom!

Ponavljanje

Kod *elektrodinamičkih zvučnica* kotvu čini titrajna zavojnica, koja se nalazi u magnetskom polju. Zajedno s iglom titra i zavojnica, te se u njoj induciraju izmjenični naponi. Dobre elektrodinamičke zvučnice imaju vrlo malenu povratnu silu kotve, vrlo malo troše ploče i cijelo tonfrekventno područje prenose jednolično i bez izobličenja. Kod *piezoelektričke (kristalne) zvučnice* se uslijed titranja igle deformira kristalni elemenat, te na plohama kristala nastaju električki naponi. Suprotno elektromagnetskoj zvučnici ovi naponi su proporcionalni amplitudi igle (odnosno brazde). Budući da su današnje gramofonske ploče prilagođene elektromagnetskoj zvučnici, to kristalne zvučnice ističu niske frekvencije. Ako je opteretni otpor kristalne zvučnice znatno manji od 0,5 MΩ, dolazi do slabljenja niskih i srednjih frekvencija. Pogonska temperatura kristalne zvučnice ne smije biti viša od 35° C.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako nastaju izmjenični naponi kod elektrodinamičke zvučnice? *Odgovor:* Mehanički titraji igle prenose se na titrajnu zavojnicu, koja se nalazi u magnetskom polju; zbog titranja zavojnice induciraju se u njoj izmjenični naponi. — *P.:* Koje prednosti ima elektrodinamička zvučnica? *O.:* Zbog vrlo malene povratne sile kotve štede se ploče i jednolično bez izobličenja prenose sve čujne frekvencije. — *P.:* Kako radi kristalna zvučnica? *O.:* Iskorištava se piezoelektrički efekt; mehanički titraji igle uzrokuju deformiranje kristalnog elementa, zbog čega na plohama kristala nastaju električki naponi. — *P.:* O čemu ovisi veličina ovih izmjeničnih napona? *O.:* Samo o amplitudi igle, a ne o frekvenciji. — *P.:* Zašto stvarna frekventna krivulja kod reprodukcije običnih gramofonskih ploča ipak nije horizontalna? *O.:* Jer se kod današnjih ploča frekvencije iznad 250 Hz snimaju s konstantnom brzinskom amplitudom. — *P.:* Kakve posljedice ima ovo na prenošenje niskih frekvencija? *O.:* Kristalna zvučnica izdiže niske frekvencije. — *P.:* Kako se ovo izdizanje može prigušiti? *O.:* Tako da se opteretni otpor kristalne zvučnice uzme znatno manji od 0,5 MΩ. — *P.:* *Koju* naročitu prednost ima kristalna zvučnica pred ostalim zvučnicama? *O.:* Ona daje naročito velike izmjenične napone. — *P.:* Kakvu vrijednost ima ovo u praksi. *O.:* Može se katkada uštedjeti jedan stupanj niskofrekventnog pojačala.

Pitanja

33. Kakva svojstva mora imati zvučnica, pa da trošenje ploče bude što manje?

34. Koje smo vrste zvučnica upoznali?

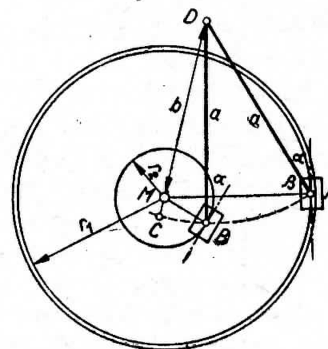
35. Kakva je u principu razlika, s obzirom na izlazni napon, između elektromagnetske i piezoelektričke zvučnice?

Zadaci

24. Kristalni elemenat neke zvučnice ima kod frekvencije 1 000 Hz kapacitivni otpor od 500 kΩ: a) Koliki je kapacitet elementa? b) Kako treba zvučnicu, uz primjenu potenciometra kao regulatora glasnoće, spojiti na prvu elektronku niskofrekventnog pojačala? c) Koliki otpor mora imati potenciometar?

Daljnje pojedinosti o električkim gramofonima

97. — Nakon toga što smo opširno govorili o biti električke reprodukcije gramofonskih ploča i o načinu djelovanja električkih zvučnica, sada ćemo se još pozabaviti s nekoliko važnih pojedinosti, o kojima bezuvjetno treba voditi računa kod gradnje i pogona električkih gramofonskih uređaja. To je u prvom redu *ispravno postavljanje ručke;* ona se oko svog jednog kraja može okretati, a na drugom kraju nosi zvučnicu (vidi sl. 90. do 92). Da ne dođe do izobličenja, moraju kotva i igla titrati uvijek *u smjeru radijusa ploče.* Ovaj zahtjev može se strogo ispuniti samo paralelnim vođenjem zvučnice. U praksi se međutim zbog konstruktivnih razloga i radi ekonomičnosti upotrebljavaju gotovo isključivo ručke s čvrstom okretnom tačkom. U ovom slučaju igla prelazeći preko ploče opisuje kružni luk. Kako bi pri tome izobličenje bilo što manje, mora se ispravno odabrati razmak između osovine ručke i središta ploče. Osim toga mora se zvučnica prema osi ručke zakrenuti za stanoviti kut. Ovaj zakretni kut ne smije se zamijeniti s kutom nagiba zvučnice prema ravnini ploče (vidi odsjek 99).



Sl. 95.

98. — Na sl. 95. vidimo ispravno postavljanje ručke i zakretanje zvučnice. M je središte ploče, D je tačka oko koje se okreće ručka, A odnosno B je vršak igle, r_1 odnosno r_2 je najveći, odnosno najmanji radijus ploče, $DA = DB = a$ je efektivna dužina ručke (udaljenost okretne tačke ručke od vrška igle), $DM = b$ je izračunana udaljenost okretne tačke ručke od središta ploče, a α izračunani zakretni kut osi zvučnice prema osi ručke. Iz trokuta DBM, odnosno DAM, prema kosinusovom poučku slijedi: $b^2 = a^2 + r^2 - 2\,a\,r_2 \cdot \cos\beta$, odnosno $b^2 = a^2 + r_1^2 - 2\,a\,r_1 \cdot \cos\beta$. Iz prve jednadžbe se dobiva: $\cos\beta = (a^2+r_2^2-b^2)\,/\,2\,a\,r_2$. Uvrstimo li ovu vrijednost u drugu jednadžbu, tada imamo: $b^2 = a^2 + r_1^2 - 2\,a\,r_1 \cdot (a^2+r_2^2-b^2)\,/\,2\,a\,r_2$. Kad se ova jednadžba riješi i uredi, a zatim skrati s izrazom $(1 - r_1/r_2)$, dobivamo:

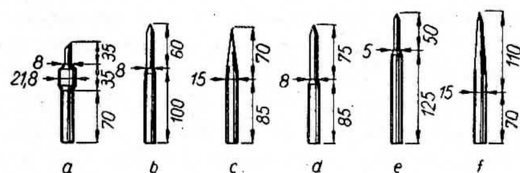
$$b = \sqrt{a^2 - r_1 \cdot r_2} \quad \ldots\ldots \quad (18)$$

Sada dakle znamo, koji razmak mora biti između okretne tačke ručke i središta ploče, ako je efektivna duljina ručke a, a radijusi ploče r_1 i r_2. Još je potrebno izračunati zakretni kut α. Ovaj je očito $\alpha = 90^0 - \beta$; kut β dobivamo iz gornje jednadžbe za b^2, naime:

$$\cos\beta = \frac{a^2 + r_1^2 - b^2}{2\,a\,r_1} = \frac{a^2 + r_2^2 - b^2}{2\,a\,r_2} \quad . \; . \; . \quad (19)$$

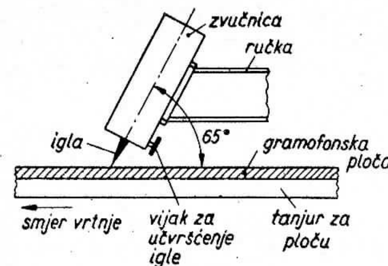
Neka nam jedan primjer pobliže razjasni proračunavanje: Efektivna duljina ručke je a = 200 mm = 20 cm, radijusi ploče r_1 = 145 mm = 14,5 cm i r_2 = 55 mm = 5,5 cm; iz jedn. (18) imamo: $b = \sqrt{400 - 14{,}5 \cdot 5{,}5} = \sqrt{320{,}25}$ = 17,9 cm = 179 mm. Iz ovoga izlazi da vršak igle mora u položaju C biti za dužinu $MC = a - b$ = 200 — 179 = 21 mm udaljen od središta ploče[11]). Nadalje se uz r_1 = 14,5 cm iz jedn. (19) dobiva: $\cos\beta$ = = (400 + 210,25 — 320,25) / (2 · 20 · 14,5 = 0,5, to jest $\beta = 60^0$, i odavle $\alpha = 90^0 - \beta = 30^0$. Uz ovaj zakretni kut titra vršak igle u krajnjim položajima A i B tačno u smjeru radijusa ploče. U međupoložajima međutim, više nije slučaj, no odstupanja prema ispravnom kutu zakreta tako su malena da su praktički bez značenja. Napominjemo da su kod kupnje obično zvučnicima priložene šablone za ispravno postavljanje ručke, tako da je gornje proračunavanje nepotrebno.

99. — Ton i glasnoća kod električke reprodukcije gramofonskih ploča, kao i trošenje ploča, u velikoj mjeri ovise o vrsti *igle za reprodukciju*. Prije svega se traži da kuglasti vršak čelične igle posve ispuni brazdu, kako bi se krivudanje brazde vjerno prenijelo na kotvu zvučnice. Ako je vršak suviše debeo, onda on leži samo na gornjim rubovima brazde, što uzrokuje jako trošenje gornjih bridova; zbog ovog brzo dolazi također do uništenja finih amplituda kod visokih tonova. S druge strane se također vršak igle već nakon nekoliko okreta izbrusi. Korist od ovoga je u tome, što se vršak igle nakon kratkog vremena



Sl. 96.

[11]) Kod okretanja ručke giblje se vršak igle po luku ABC od A prema C.



Sl. 97.

prilagodi presjeku brazde; štetno je, međutim, to, što je izbrušena ploha igle prema kraju ploče tako velika da se finese brazda (visoki tonovi!) ne mogu više besprijekorno prenijeti na iglu. Iz ovoga slijedi da je, s obzirom na čuvanje ploča i dobru reprodukciju visokih tonova, potrebno nakon reproduciranja jedne strane ploče iglu promijeniti! D e b e l e igle su doduše krute, dobro prenose amplitude brazda i daju veliku glasnoću, ali prema gornjemu jako troše ploče. T a n k e se igle kod velikih amplituda brazda i kod visokih frekvencija uslijed elastičnih vlastitih titraja savijaju; zbog toga dolazi do iskrivljenja tona i smanjenja glasnoće. Prema tome je najbolje da se za reprodukciju upotrijebe dobre igle s r e d n j e d e b l j i n e. Na sl. 96. vidimo oblike raznih igala i njihove dimenzije. Igla za reprodukciju ne smije na ploči stajati suviše strmo. Kako se vidi iz sl. 97. mora kut nagiba igle, odnosno zvučnice prema ravnini ploče, iznositi oko 65°.

Ponavljanje

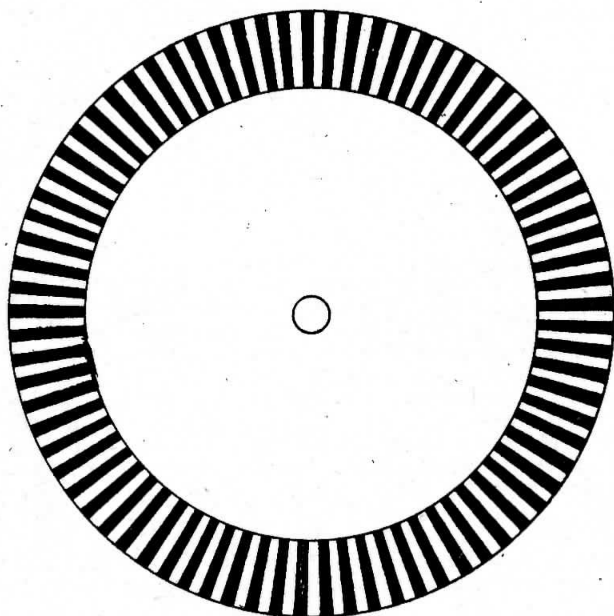
Da se izbjegnu izobličenja mora igla za reprodukciju titrati uvijek tačno u smjeru radijusa ploče. Ovo se može približno postići ispravnim *postavljanjem ručke*, a sasvim tačno samo paralelnim vođenjem zvučnice. Ako se upotrebljava ručka s čvrstom okretnom tačkom, važno je da udaljenost okretne tačke od središta ploče bude ispravna i da se ispravno z a k r e n e zvučnica prema osi ručke; za ovo vrijede jednostavne jednadžbe. Za reprodukciju gramofonskih ploča moraju se upotrijebiti igle koje svojim vrškom što potpunije ispunjaju brazde, tako da se i najfinije amplitude brazda mogu vjerno prenijeti na kotvu zvučnice. Debelim iglama moguće je, istina, dobro prenijeti cijelo tonfrekventno područje, ali one suviše oštećuju ploče; kod tankih igala, ako su amplitude velike, dolazi kod visokih frekvencija do elastičnih vlastitih titraja, što kvari ton. Najbolje je upotrijebiti igle s r e d n j e d e b l j i n e. Kut nagiba igle prema ravnini ploče mora iznositi oko 65°.

Pitanja i odgovori

Pitanje: U kojem smjeru treba da titra igla zvučnice? *Odgovor:* Po mogućnosti uvijek tačno u smjeru radijusa ploče. — *P.*: Kako se ovo može postići? *O.*: Ispravnim postavljanjem ručke. — *P.*: Što je važno za ispravno postavljanje, ako ručka ima čvrstu okretnu tačku? *O.*: Da udaljenost između okretne tačke i središta ploče bude ispravna i da bude ispravan kut između osi zvučnice i osi ručke. — *P.*: Kako se ove veličine mogu odrediti? *O.*: Pomoću posebnih jednadžbi — vidi jedn. (18) i (19). — *P.*: Je li ovakvo postavljanje ručke ispravno za sve položaje? *O.*: Ne, nego samo za krajnje položaje; no odstupanja u međupoložajima su praktički bez značenja. — *P.*: Što se traži od dobre igle za reprodukciju? *O.*: Vršak igle mora što potpunije ispunjati brazde; no ne smije biti su-

više debeo, jer bi u tom slučaju dodirivao samo gornje bridove brazda i time jako trošio ploče. Igla ne smije biti ni suviše tanka, kako ne bi došlo do elastičnih vlastitih titraja. — *P.*: Koliki treba da bude kut nagiba igle prema ravnini ploče? *O.*: Oko 65°.

100. — Iz odsjeka 85. znamo da su obične gramofonske ploče snimljene sa 78 okretaja na minutu. Prema tome mora se i kod reprodukcije zadržati tačno ovaj broj okretaja. Kod manjeg broja okretaja bili bi svi tonovi suviše duboki, a kod većeg suviše visoki; dakle u svakom slučaju reprodukcija bi bila neprirodna. Mijenjanje broja okretaja za vrijeme reprodukcije čuje se kao neugodno povisivanje i snizavanje tona (»zavijanje«). Kontrola broja okretaja može se kod danjeg svjetla ili uz rasvjetu istosmjernom strujom izvršiti tako da se jednostavno izbroji koliko



Sl. 98.

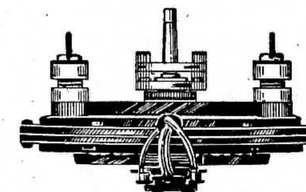
okretaja učini tanjur u minuti. Uz rasvjetu izmjeničnom strujom (najbolje pomoću tinjalice!) upotrebljava se međutim stroboskopska ploča, koja se djelovanje osniva na stroboskopskom efektu. Ovakva ploča ima crne pruge i isto tako velike svijetle međuprostore (sl. 98). Ako se ova ploča natakne na osovinu tanjura koji se vrti, tada se uz rasvjetu izmjeničnom strujom čini kao da pruge putuju unaokolo naprijed ili natrag; uz stanoviti broj okretaja imamo utisak kao da pruge stoje. Ovo je slučaj onda, ako u svakoj stotinki sekunde jedna crna pruga dođe na mjesto

susjedne crne pruge. Broj izmjena je naime kod izmjenične struje frekvencije 50 Hz upravo 100. Kako se uz 78 okretaja u minuti tanjur u sekundi okrene 78/60 = 1,3 puta, a u isto vrijeme svjetlo zasja 100 puta, to ploča mora imati 100/1,3 = 77 crnih i isto toliko svijetlih pruga. Okreće li se tanjur samo malo brže ili polaganije od 78 okretaj u minuti, tada se čini da se pruge pomiču naprijed ili natrag. Stroboskopska ploča je, dakle, vrlo jednostavno i pouzdano sredstvo za kontrolu broja okretaja.

101. — Kao *pogonski motor* za gramofon dolazi u najjednostavnijem slučaju u obzir *motor s oprugom.* Ako se moraju reproducirati i ploče s promjerom 300 mm, tada je potrebno imati na raspolaganju motor s dvostrukom oprugom. Mnogo je, međutim, povoljnije i udobnije, ako se upotrijebi *elektromotor,* jer njega nije potrebno navijati. Postoje tri vrste elektromotora: *kolektorski* motori kao univerzalni motori za pogon istosmjernom i izmjeničnom strujom, *indukcioni motori* s pogonom samo na izmjeničnu struju, i *sinhroni motori* koji se također tjeraju samo izmjeničnom strujom. Kolektorski motori se nakon ukapčanja pokrenu sami; no oni mogu iskrenjem kolektora lako uzro-



Sl. 99.

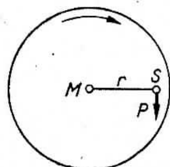


Sl. 100.

kovati smetnje kod radio-prijema. U takvom slučaju moraju se u njih ugraditi kondenzatori za otklanjanje smetnji, o kojima ćemo govoriti kasnije. Na sl. 99. vidi se jedan jači indukcioni motor. Ovi motori, kao i kolektorski motori i motori s oprugom, imaju centrifugalni regulator, pomoću kojeg se može namjestiti ispravni broj okretaja. Sinhroni motori se moraju doduše prije ukapčanja na napon zavrtjeti, ali imaju veliku prednost da im je broj okretaja konstantan, ukoliko se dakako ne mijenja frekvencija mreže. Osim toga kod sinhronog motora (sl. 100) tanjur okreće direktno osovina kotve bez međuprijenosa; time se dobiva bešuman hod i jednostavna konstrukcija. Kod drugih elektromotora mora se visoki broj okretaja kotve (800 do 2 000 okr./min.) pomoću pužnog prijenosa ili pomoću zupčanika sniziti na niski broj okretaja osovine tanjura (78 okr./min).

102. — Ako se zvučnica vrškom igle postavi na ploču koja se vrti, tada tanjur mora svladati silu trenja *P* (oko 20 do 30 g; sl. 101). Pogonski motor mora, dakle, mjesto vrška igle *S* u udaljenosti *r* od središta

ploče M dovoditi stanovitu silu P. Prema tome radi se o *zakretnom momentu* $M_d = P \cdot r$ [gcm]. Ovaj momenat iznosi barem 300 do 400 gcm; elektromotori na sl. 99, odnosno 100, imaju zakretni momenat od 2 000 gcm, odnosno 1 200 gcm. Zakretni momenat elektromotora može se bilo izmjeriti (na primjer dinamometrom na principu kočenja) ili približno izračunati. Ako je N električka snaga elektromotora u [W] kod punog opterećenja, n broj okretaja tanjura u minuti, a η stupanj djelovanja, tada za zakretni momenat vrijedi jednadžba:



Sl. 101.

$$M_d = \eta \cdot \frac{N}{n} \cdot 97300 \text{ [gcm]} \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

Stupanj djelovanja elektromotora, o kojima smo govorili, vanredno je malen. On iznosi samo 0,1 do 0,2 ili 10 do 20%. Ovdje se naime radi o precizionim elektromotorima, kod kojih se važnost prije svega polaže na to, da broj okretaja bude vrlo tačan. Za $N = 15$ W, $n = 78$ okr./min., $\eta = 0{,}1$ dobivamo iz jedn. (20) zakretni momenat $M_d = 0{,}1 \cdot 15 \cdot 97\,300/78 \approx 1\,870$ gcm. Sva ova razlaganja i proračuni imaju naročitu važnost kod s n i m a n j a p l o č a.

Ponavljanje

Kod reprodukcije ploča mora se broj okretaja, kojim je ploča snimljena, održavati naročito tačno. Ispravan broj okretaja može se uz rasvjetu izmjeničnom strujom namjestiti i kontrolirati vrlo jednostavno pomoću *stroboskopske ploče*. Ova ploča ima 77 crnih i 77 svijetlih pruga, tako da se uz 78 okr./min. i kod frekvencije mreže od 50 Hz čini kao da ploča stoji. Kao *pogonski motor* može se u najjednostavnijem slučaju upotrijebiti motor s oprugom. Bolje je, međutim, upotrijebiti e l e k t r o m o t o r. K o l e k t o r s k i motori za pogon na istosmjernu i izmjeničnu struju i indukcioni motori, koje tjera samo izmjenična struja, polaze poslije ukapčanja sami; ovi motori imaju centrifugalni regulator da se može namjestiti pravi broj okretaja tanjura. S i n h r o n i motori se mogu priključiti samo na izmjeničnu struju i njih je potrebno prije ukapčanja zavrtjeti; uz konstantnu frekvenciju mreže broj okretaja ovih motora je konstantan. Motori za reprodukciju ploča moraju imati minimalni zakretni momenat od 300 do 400 gcm. Zakretni momenat elektromotora može se približno izračunati iz primljene električke snage, broja okretaja i stupnja djelovanja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakve posljedice ima krivi ili promjenljivi broj okretaja kod reprodukcije gramofonske ploče? *Odgovor:* Tonovi postaju viši ili niži, dakle reprodukcija se iskvari. — *P.*: Kako se može kontrolirati broj okretaja tanjura? *O.*: Kod danjeg svjetla i kod osvjetljenja istosmjernom strujom tako da se izbroji broj okretaja tanjura u minuti, a kod rasvjete izmjeničnom strujom pomoću stroboskopske ploče. — *P.*: Što je stroboskopska ploča? *O.*: Ploča koja ima crne i svijetle pruge i kod koje se uz rasvjetu izmjeničnom strujom čini kao da se okreće, već prema broju okretaja, naprijed ili natrag, odnosno da stoji. — *P.*: Koliko pruga mora imati stroboskopska ploča, da nam se uz 78 okretaja u minuti pričinja kao da ploča stoji? *O.*: 77 crnih i 77 svijetlih pruga, ukoliko se radi o rasvjeti iz mreže s frekvencijom od 50 Hz. — *P.*: Koje vrste motora dolaze u obzir za pogon gramofonskih uređaja? *O.*: Motori s oprugom i elektromotori. — *P.*: Koje se vrste elektromotora pri tome upotrebljavaju? *O.*: Kolektorski motori za pogon istosmjernom i izmjeničnom strujom, kao i indukcioni i sinhroni motori s pogonom samo na izmjeničnu struju. — *P.*: Kakva posebna svojstva imaju sinhroni motori? *O.*: Oni ne mogu kao drugi elektromotori poći sami, već ih je potrebno zavrtjeti; broj okretaja kod njih je uz konstantnu frekvenciju mreže potpuno konstantan. — *P.*: Koliki mora biti zakretni momenat motora za reprodukciju ploča? *O.*: Barem 300 do 400 gcm. — *P.*: Kako se može odrediti zakretni momenat elektromotora? *O.*: Bilo mjerenjem, bilo približno proračunavanjem iz električke snage broja okretaja i stupnja djelovanja.

Pitanja

36. Zašto se ista igla za reprodukciju ne smije upotrijebiti za više strana gramofonskih ploča?

37. O čemu ovisi broj pruga kod stroboskopske ploče?

38. Što se može reći o stupnju djelovanja elektromotora za snimanje i reprodukciju gramofonskih ploča?

Zadaci

25. Potrebno je da se jedan gramofon ugradi u ormar; razmak između okretne tačke ručke i središta tanjura smije iznositi najviše 250 mm. Kolika moraju biti: a) efektivna duljina ručke i b) zakretni kut zvučnice, ako je najveći, odnosno najmanji radijus ploče 150 mm, odnosno 50 mm? c) Koliko je odstupanje od pravog zakretnog kuta zvučnice, ako je vršak igle udaljen 100 mm od središta ploče?

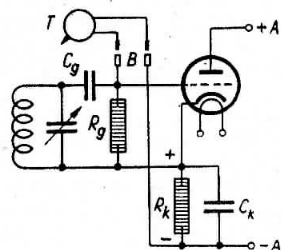
26. Neka stroboskopska ploča ima 73 crne i 73 svijetle pruge. Kod kojeg ćemo broja okretaja imati utisak da ploča stoji, ako se za rasvjetu upotrijebi tinjalica priključena na izmjenični napon frekvencije 50 Hz?

27. Neki sinhroni motor za snimanje ima kod 78 okretaja na minutu, zakretni momenat od 6 500 gcm. Koliki je stupanj djelovanja motora, ako on kod punog opterećenja troši snagu od 33 W?

Najvažniji spojevi za priključivanje zvučnica

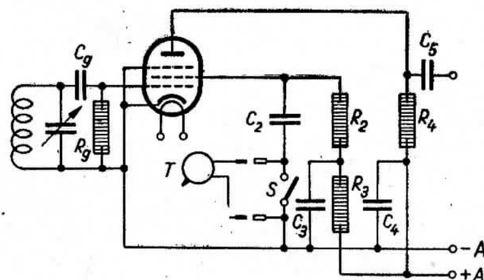
103. — Zvučnica se na pojačalo ili prijemnik može priključiti na **različite načine. Najjednostavniji je slučaj,** ako se zvučnica priključuje **na ulaz običnog** ***niskofrekventnog pojačala.*** Tada se, naime, zvučnica spaja, bilo direktno na rešetku i minus-vod prve elektronke, bilo na odgovarajući p r i l a g o d n i t r a n s f o r m a t o r (vidi dio II, odsjek 150. i sl. 113). Ulazni transformator se upotrebljava onda, ako je unutarnji otpor (impedancija) zvučnice razmjerno nizak, dakle kod niskoomskih i srednjoomskih elektromagnetskih i elektrodinamičkih zvučnica (vidi odsjeke 92 i 93). Pomoću transformatora prilagođuje se unutarnji otpor zvučnice visokom otporu rešetkinog kruga prve elektronke pojačala. Kod *jednostavnih radio-prijemnika* upotrebljava se za niskofrekventno pojačavanje audion ili anodni demodulator, kako bi se dobio do-

voljno visok izmjenični napon za uzbuđivanje izlaznog stupnja. Kod *audiona* nije ispravno da se zvučnica priključi direktno između rešetke i katode, jer bi se zbog toga, što nema negativnog prednapona, kod uzbuđivanja došlo u područje jakih struja prema rešetki, te bi nastala izobličenja. Zato se zvučnica T na audion priključuje tako kako pokazuje sl. 102. Kroz katodni otpor R_k, koji je premošten kondenzatorom $C_k = 2\ \mu F$, teče istosmjerna anodna struja triode tako, da na njemu nastaje pad napona. Ovaj se napon iskorištava kao negativni prednapon za rešetku. Ako se zvučnica T izvuče iz priključnica B, tada ovog negativnog prednapona više nema, te katodni otpor R_k djeluje još samo kao predotpor, koji smanjuje istosmjerni anodni napon audiona.

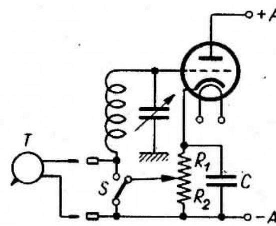


Sl. 102.

104. — Na *audion sa zaslonskom rešetkom* (vidi dio II, sl. 189) zvučnica se priključuje prema sl. 103. Otpor zaslonske rešetke sastoji se od otpora $R_2 = 0{,}1\ M\Omega$ i $R_3 = 1\ M\Omega$. Kondenzator $C_3 = 1\ \mu F$ predstav-



Sl. 103.



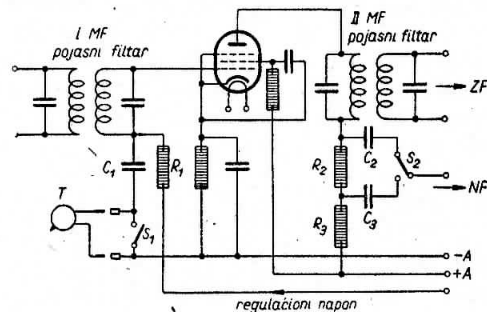
Sl. 104.

lja za niskofrekventne struje kratak spoj; ako se dakle otvaranjem sklopke S zvučnica T ukopča, tada kao opteretni otpor djeluje praktički samo otpor $R_2 = 0{,}1\ M\Omega$. Kod radioprijema sklopka S je zatvorena. Pentoda radi kao otporno pojačalo ($R_4 = 0{,}2\ M\Omega$, $C_2 = 0{,}1\ \mu F$, $C_4 = 2\ \mu F$, $C_5 = 20\,000$ pF).

105. — Na sl. 104. vidimo, nadalje, kako se zvučnica priključuje na *anodni demodulator*. Prema dijelu II, odsjek 156, anodni demodulator radi s tako visokim negativnim prednaponom, da radna tačka leži na donjem koljenu karakteristike. No ovo je za upotrebu elektronke kao čisto niskofrekventno pojačalo vrlo nepovoljno (jako izobličenje). Zbog toga se katodni otpor, na kojemu se stvara negativni prednapon, razdijeli. Na ukupnom otporu $R_1 + R_2$ (premosni kondenzator $C = 2\ \mu F$)

nastaje prednapon koji je potreban za demodulator, a na otporu R_1 prednapon za reprodukciju s ploča. Pad napona na otporu R_1, koji se na poznati način može izračunati prema Ohmovom zakonu, mora biti toliki da elektronka kod gramofonske reprodukcije radi u sredini ravnog dijela karakteristike. Nacrtani položaj ima sklopka S kod reprodukcije s ploča i tada je R_2 kratko spojen. Prebaci li se sklopka nalijevo, tada elektronka radi kao anodni demodulator, to jest katodni otpor je cijeli otpor $R_1 + R_2$, a zvučnica je tada kratko spojena.

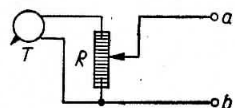
106. — Kod *većih prijemnika* zvučnica se većinom priključuje između diodnog, odnosno dvostrukog diodnog demodulatora i prvog stupnja niskofrekventnog pojačala. Budući da su nam ovi spojevi već poznati (vidi dio II, odsjek 261 i sl. 193, odsjek 305 i sl. 219, odsjek 311, i sl. 221, odsjek 332, i sl. 231) nije potrebno da u ovo još jednom ulazimo. Da se dobije još veće niskofrekventno pojačanje, može se kod reprodukcije s ploča upotrijebiti kao pojačalo također visokofrekventna elektronka ili međufrekventna elektronka. U tom slučaju se zvučnica spoji u seriju s ulaznim krugom dotične elektronke. Na sl. 105. vidi se ovakav spoj kod reguliranog međufrekventnog stupnja. $R_1 = 0{,}5\ M\Omega$ — $C_1 = 0{,}1\ \mu F$ je poznati filtar za regulacioni napon, dok se s anodnog otpora $R_2 = 20\ k\Omega$ uzima pojačani niskofrekventni napon kod reprodukcije s ploča (sklopke S_1 i S_2 u položajima kao na sl. 105). Drugi međufrekventni filtar predstavlja za niskofrekventne titraje kratki spoj. Niskofrekventni naponi se preko kondenzatora $C_2 = 50\,000$ pF dovode prvom stupnju niskofrekventnog pojačala prijemnika. Kod radio-prijema nalaze se sklopke S_1 i S_2 u drugom položaju prema onom, kako je nacrtano na sl. 105; u ovom slučaju se otpor R_2 iskorištava za filtriranje anodne struje. $R_3 = 10\ k\Omega$ — $C_3 = 2\ \mu F$ je također filtar za anodnu struju i filtarski članak protiv galvanske reakcije.



Sl. 105.

107. — Opisani spojevi bit će dovoljni da se pokaže kako se mogu priključiti zvučnice. Ima dakako i drugih spojeva, koji se iz opisanih spojeva mogu kombinirati. Pri tome se uvijek mora paziti, da se opteretni otpor zvučnice ne bi uslijed paralelno spojenih otpora suviše smanjio (po mogućnosti ne ispod $0{,}1\ M\Omega$); ovo pogotovu vrijedi za priključivanje kristalne zvučnice (vidi odsjek 95). Impedancija ulaznog kru-

ga za zvučnicu mora uvijek biti veća od unutarnjeg otpora (impedancije) zvučnice, to jest veća od 10 000 do 20 000 Ω kod elektromagnetskih zvučnica, a veća od 0,1 MΩ kod kristalnih zvučnica. Zbog istih razloga mora se i otpor *regulatora glasnoće* dimenzionirati ispravno. Kao regulator obično se upotrebljava ugrađeni potenciometar (sl. 106), kojeg je otpor otprilike jednak petorostrukom unutarnjem otporu zvučnice (kod srednjih frekvencija). Priključnice *a* i *b* spajaju se kod prijemnika ili pojačala s priključnicama za zvučnicu: pri tome se priključnica *b* spaja uvijek s minus-vodom. Što se više klizač potenciometra približava minus-vodu, to manji je napon na priključnicama. Regulator mora osim toga imati l o g a r i t m i č k u karakteristiku, da bi regulacija bila prema svojstvima uha (vidi dio II, odsjek 261). Vodovi zvučnice, i to kako izvan prijemnika, tako i unutar njega, moraju se dobro o k l o p i t i, da ne dođe do smetnji brujanja uslijed djelovanja vodova rasvjetne mreže.



Sl. 106.

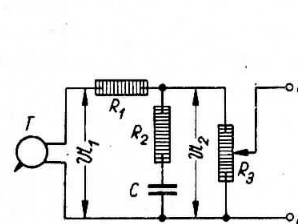
Ponavljanje

Zvučnica se na prvi stupanj n i s k o f r e k v e n t n o g p o j a č a l a priključuje bilo direktno, ili preko prilagodnog transformatora. Kod jednostavnih prijemnika iskorištava se za pojačavanje niskofrekventnih napona također a u d i o n, odnosno a n o d n i d e m o d u l a t o r. Kod audiona sa z a s l o n s k o m r e š e t k o m bolje je zvučnicu priključiti u krug zaslonske rešetke. Uvijek se mora paziti na to, da audionska elektronka, odnosno elektronka kojom se vrši anodna demodulacija, ima kod reprodukcije s ploča ispravan negativni prednapon, kako bi radna tačka bila u sredini ravnog dijela karakteristike. Kod većih prijemnika zvučnica se većinom priključuje između diodnog demodulatora i prvog stupnja niskofrekventnog pojačala. No za niskofrekventno pojačavanje može se iskoristiti i stupanj za v i s o k o f r e k v e n t n o, odnosno m e đ u f r e k v e n t n o pojačavanje. Kod priključivanja zvučnica potrebno je paziti na to, da efektivni opteretni otpor zvučnice bude uvijek veći od unutarnjeg otpora (impedancije) zvučnice. Radi toga također otpor p o t e n c i o m e t r a, kojim se regulira glasnoća, mora biti jednak otprilike petorostrukom unutarnjem otporu zvučnice. Da ne dođe do brujanja moraju se vodovi zvučnice dobro oklopiti.

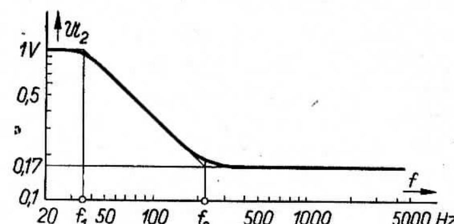
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se zvučnica priključuje na niskofrekventno pojačalo? *Odgovor:* Direktno ili preko transformatora između rešetke i minus--voda prve elektronke pojačala. — *P.:* Kako se zvučnica priključuje na jednostavni prijemnik? *O.:* Na rešetku audiona ili anodnog demodulatora. — *P.:* Na što treba pri tome paziti? *O.:* Kod spoja za reprodukciju ploča mora rešetka dobiti tako velik negativni prednapon, da se radna tačka elektronke nalazi na sredini ravnog dijela karakteristike. — *P.:* Kako zvučnicu valja priključiti na audion sa zaslonskom rešetkom? *O.:* U krug zaslonske rešetke. — *P.:* Kako se veći prijemnik može iskoristiti za gramofonsku reprodukciju? *O.:* Tako da se zvučnica priključi između demodulatora i prvog stupnja niskofrekventnog pojačala; da se dobije još veće niskofrekventno pojačanje iskorištava se kod gramofonske reprodukcije također jedan visokofrekventni ili međufrekventni stupanj. — *P.:* Koliki mora biti efektivni opteretni otpor zvučnice? *O.:* Uvijek veći od unutarnjeg otpora zvučnice. — *P.:* Kako se regulira glasnoća kod zvučnice? *O.:* Pomoću potenciometra koji se spaja paralelno zvučnici. — *P.:* Koliki mora biti otpor ovog potenciometra? *O.:* Mora biti jednak otprilike petorostrukom unutarnjem otporu zvučnice; osim toga potenciometar mora imati logaritmičku karakteristiku, da regulacija glasnoće bude prema svojstvima uha. — *P.:* Kada kod priključivanja zvučnice može nastati jako brujanje? *O.:* U slučaju, ako vodovi zvučnice nisu dobro oklopljeni.

108. — Iz odsjeka 88. znamo, da su frekvencije ispod 250 Hz na gramofonskoj ploči hotimice zapostavljene. Ovim uvjetovano slabljenje



Sl. 107.



Sl. 108

izmjeničnih napona, koje daje zvučnica kod niskih frekvencija, može se izravnati *korektorom.* Niske frekvencije su prema srednjim frekvencijama oslabljene u odnosu oko 1 : 5 = 1,6 Np; prema tome potrebno je *izdignuti basove* ili *korigirati niske frekvencije.* Ovo se može provesti na različite načine, o kojima smo već govorili djelomično u dijelu II, odsjecima 133 do 137. Najjednostavnija korekcija dubokih tonova može se provesti slabljenjem srednjih i visokih tonova; korektor mora srednje frekvencije prigušiti u odnosu oko 1 : 5. Zbog toga niskofrekventno pojačalo mora imati oko pet puta veće pojačanje nego bez korektora, da bi glasnoća usprkos korekciji ostala ista. Na sl. 107. vidimo shemu jednostavnog korektora za niske frekvencije, koji se može upotrijebiti za sve elektromagnetske i elektrodinamičke zvučnice. Na uzdužnom otporu R_1 i na serijskom spoju kapaciteta C i poprečnog otpora R_2 dolazi do dijeljenja izmjeničnog napona U_1 koji daje zvučnica T. Što je viša frekvencija, to je manji kapacitivni otpor kondenzatora C, to jest to je manja impedancija serijskog spoja R_2 i C. Izlazni *napon* U_2 prema tome s porastom frekvencije najprije opada, a zatim ostaje stalan, jer se kod srednjih i viših frekvencija kapacitivni otpor kondenzatora C može prema otporu R_2 zanemariti (sl. 108) Na sl. 108. vidimo da su niske frekvencije ispod frekvencije f_2, pa do frekvencije f_1, s obzirom na frekvencije iznad f_2, izdignute; zbog toga dolazi do smanjenja glasnoće

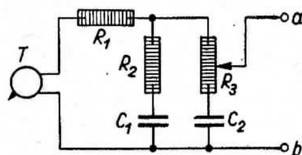
kod frekvencija iznad f_2. Frekvencije f_1 i f_2 mogu se prema slijedećim jednadžbama približno izračunati:

$$f_1 = \frac{1}{2\,\pi\,(R_1 + R_2)\,C} \quad \ldots \quad (21)$$

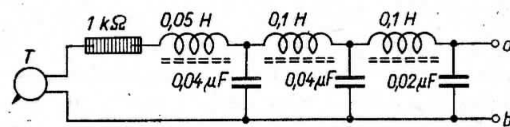
$$f_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot f_1 \quad \ldots \quad (22)$$

Ovo vrijedi uz pretpostavku, da je otpor R_1 mnogo veći od unutarnjeg otpora zvučnice, i da se izlazni napon kod srednjih i visokih frekvencija oslabljuje na otprilike j e d n u š e s t i n u. Odaberemo li $R_1 = 200$ kΩ $= 2 \cdot 10^5$ Ω, $R_2 = 35$ kΩ $= 0{,}35 \cdot 10^5$ Ω, $C = 20\,000$ pF $= 2 \cdot 10^{-8}$ F, tada se iz jedn. (21) dobiva: $f_1 = 1/(2\pi \cdot 2{,}35 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-8}) = 1000/(9{,}4 \cdot \pi) \approx \approx 34$ Hz, a iz jedn. (22): $f_2 = 235 \cdot 34/35 \approx 230$ Hz. Za $R_1 = 200$ kΩ, $R_2 = 80$ kΩ i $C = 10\,000$ pF $f_1 \approx 57$ Hz, a $f_2 \approx 200$ Hz; izlazni napon U_2 je pri tome kod srednjih i visokih frekvencija smanjen samo na otprilike j e d n u t r e ć i n u. Potenciometar za reguliranje glasnoće R_3 mora kod ovog spoja biti i z a korektora, ne dakle neposredno iza zvučnice. Otpor regulatora glasnoće mora biti oko 0,5 MΩ, kako ne bi u većoj mjeri utjecao na djelovanje korektora kod niskih frekvencija. Priključnice *a* i *b* spajaju se direktno na priključnice za priključak zvučnice.

109. — Slabljenjem visokih frekvencija može se kod reprodukcije gramofonskih ploča znatno smanjiti šum igle. Na sl. 109. vidimo shemu *filtra za otklanjanje šuma igle* u vezi s korektorom za duboke tonove. R_1, R_2 i C_1 imaju isto značenje i iste vrijednosti kao na sl. 107. Filtar za šum igle je djelitelj napona $R_3 + C_2$. Kapacitet kondenzatora C_2 je znatno manji nego kapacitet kondenzatora C_1, na primjer $C_2 = 1\,000$ pF.



Sl. 109.



Sl. 110.

Zbog toga filtar za šum igle oslabljuje izlazni napon tek kod v i š i h frekvencija. Odaberemo li $R_3 = 100$ kΩ (konačna vrijednost), tada se frekvencije iznad nekih 1 000 Hz postepeno sve više slabe. Što je klizač kod R_3 niže, to je manja glasnoća kod visokih frekvencija, pa je prema tome manji i šum igle; početak slabljenja visokih frekvencija praktički se ne mijenja s reguliranjem otpora R_3. Opisani filtar ima nedostatak, da se slabljenjem područja visokih frekvencija mijenja boja

tona. Budući da se šum igle nalazi uglavnom u području između 4 000 Hz i 7 000 Hz, mnogo je povoljnije da se što više priguše samo frekvencije iznad 5 000 Hz, a da frekvencije ispod toga budu što manje oslabljene, da se boja tona praktički ne bi mijenjala; ovo se može postići f i l t r o m koji se sastoji od više rezonantnih krugova. Filtar za šum igle prikazan na sl. 110. ima tri članka i sigurno reže sve frekvencije iznad granične frekvencije od kojih 5 000 Hz; prigušnice su motane na visokofrekventne željezne jezgre, tako da su vanjske dimenzije sasvim malene.

Ponavljanje

Budući da se kod snimanja gramofonskih ploča zapostavlja frekvencije ispod 250 Hz, to ih je kod reprodukcije potrebno *korigirati (izdizanje basova ili korekcija dubokih tonova)*. To se na najjednostavniji način postiže tako da se srednje i visoke frekvencije prema frekvencijama ispod 250 Hz oslabi u odnosu otprilike 1 : 5. Filtar za ovu svrhu sastoji se od jednog uzdužnog otpora i jednog poprečnog otpora koji je ovisan o frekvenciji (serijski spoj omskog otpora i kapaciteta). Šum igle, koji se čuje kod reprodukcije gramofonskih ploča, može se znatno smanjiti *filtrom za otklanjanje šuma*. Ovakav filtar ima zadatak da frekvencije iznad kojih 5 000 Hz što više priguši, a na frekvencije ispod toga da djeluje u što manjoj mjeri. Ovo se najbolje postiže filtrom, koji se sastoji od više rezonantnih krugova.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto je kod reprodukcije gramofonskih ploča potrebno izdignuti basove? *Odgovor:* Da se izravnaju niske frekvencije, koje su kod snimanja zapostavljene. — *P.:* Kako se u principu vrši ova korekcija? *O.:* Slabljenjem srednjih i visokih frekvencija prema niskim frekvencijama u odnosu otprilike 1 : 5. — *P.:* Od čega se sastoji najjednostavniji filtar za korekciju niskih frekvencija? *O.:* Od uzdužnog otpora i o frekvenciji ovisnog poprečnog otpora (serijskog spoja omskog otpora i kapaciteta) . — *P.:* Koliki se mora uzeti kapacitet poprečnog otpora? *O.:* Tako velik, da se njegov kapacitivni otpor kod srednjih i visokih frekvencija može prema serijskom otporu, zanemariti. — *P.:* Što se može reći o veličini uzdužnog otpora? *O.:* On mora biti znatno veći od unutarnjeg otpora zvučnice. — *P.:* Kako se može smanjiti šum igle kod reprodukcije gramofonskih ploča?? *O.:* Filtrom za šum igle. — *P.:* Koji se zahtjevi postavljaju na filtar za šum igle? *O.:* On mora frekvencije iznad kojih 5 000 Hz što više prigušiti, a frekvencije ispod ove što bolje propustiti, kako ne bi došlo do kvarenja tona reprodukcije. — *P.:* Kakav nedostatak imaju jednostavni filtri za šum igle? *O.:* Oni više frekvencije iznad kojih 1 000 Hz postepeno oslabljuju, tako da se gornje tonfrekventno područje ne može kod reprodukcije besprijekorno prenijeti. — *P.:* Kakvi filtri nemaju ovog nedostatka? *O.:* Filtri koji se sastoje od više rezonantnih krugova, ugođenih na gornju graničnu frekvenciju od nekih 5 000 Hz.

Pitanja

39. Kako se prijemnik može iskoristiti za reprodukciju gramofonskih ploča?

40. Koje se područje frekvencija izdiže kod reprodukcije gramofonskih ploča?

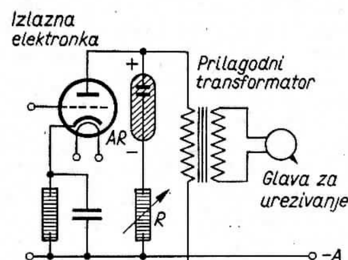
41. U kojem se području frekvencija šum igle čuje naročito jako?

Zadaci

28. Filtar za korekciju niskih frekvencija, prikazan na sl. 107, treba područje frekvencija ispod 250 Hz izdignuti prema srednjim i visokim frekvencijama na šestorostruku vrijednost; omski otpori iznose $R_1 = 100$ kΩ i $R_2 = 20$ kΩ. a) Do koje se donje granične frekvencije proteže korekcija niskih frekvencija? b) Koliki mora biti kapacitet C?

Noviji načini snimanja zvuka

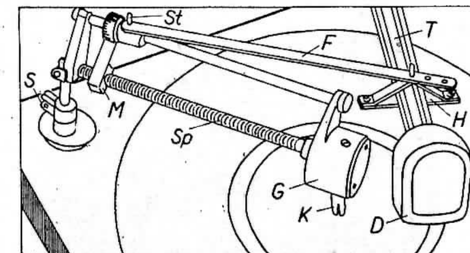
110. — Poslije opširnog razgovora o električkoj reprodukciji gramofonskih ploča sada ćemo upoznati *moderne metode snimanja zvuka.* Pri tome ne mislimo samo na električko snimanje gramofonskih ploča, nego prije svega na različite načine snimanja zvuka, koji se primjenjuju u radiodifuznoj službi. Svaki dan imamo prilike da se uvjerimo, kako je snimanje zvuka važno upravo u radio-difuziji; tek njime je omogućeno da se svlada prostor i vrijeme i da slušači naknadno sudjeluju u svim važnijim događajima. Snimanje zvuka je postalo vrlo važno za mnoge znanstvene, privatne i druge svrhe. Radi boljeg razumijevanja samog načina snimanja zvuka najprije ćemo se pozabaviti snimanjem na gramofonskim folijama. Ovdje se radi o postupku koji omogućuje, da svaki posjednik dobrog prijemnika ili pojačala može sam snimiti radio-izvedbe ili svoj govor preko mikrofona i tako načiniti vlastiti arhiv ploča. Snimanje ploča je postupak obrnut reprodukciji s ploča (vidi odsjek 84): zvučni titraji primljeni od mikrofona i pretvoreni u odgovarajuće električke titraje, zatim dovoljno pojačani u niskofrekventnom pojačalu, ne privode se zvučniku, nego urezivaču tona, takozvanoj *glavi za urezivanje;* ovakva glava je u principu građena jednako kao i elektromagnetska zvučnica. Zavojnici kotve dovode se električki titraji, koje kotva koja se nalazi u magnetskom polju, pretvara u mehaničke titraje; ovi se titraji preko *noža za urezivanje* prenose na ploču za snimanje, tako da nastaju poznate vijugave tonske brazde (vidi odsjek 83).



Sl. 111.

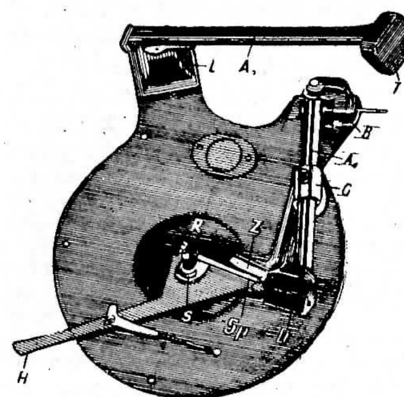
111. — *Glava za urezivanje* mora izdržati mnogo veća mehanička i električka opterećenja nego zvučnica. Budući da nož za urezivanje, koji je učvršćen u kotvi, urezuje iz ploče nit, kotva mora »sjediti« vrlo sigurno i mora biti dosta jako prigušena. Ovo traži razmjerno veliku *električku snagu,* koju pojačalo mora dati glavi za urezivanje. Prema vrsti ploče, na koju se snima (vidi odsjek 115), i prema glavi za urezivanje, potrebne su za glasne snimke različite snage. Neizobličena govorna snaga pojačala općenito ne smije biti manja od kojih 3 W. Ova snaga može se bez daljnjega dobiti

od izlaznih stupnjeva modernih prijemnika i pojačala (usporedi tablicu u djelu II, odsjeci 118 i 125). Glava za urezivanje mora se kao i zvučnik ispravno prilagoditi na dotični izlazni stupanj; ovo se po poznatim pravilima radi pomoću prilagodnog transformatora (vidi dio II, odsjeke 89, 118, 123, 131). Da zbog prevelike glasnoće ne dođe do ulaženja iz jedne brazde u drugu, potrebno je imati uređaj za kontrolu napona na glavi za urezivanje. Za ovo se može na primjer upotrijebiti jednostavna *»amplitudna cijev«* AR u anodnom krugu izlaznog stupnja (sl. 111). Amplitudna cijev je tinjalica koja ima dugu katodu od žice; što je veći izmjenični napon, koji je superponiran istosmjernom naponu, to veća je dužina pruge tinjavog svjetla. Promjenljivi otpor R (oko 50 kΩ najveća vrijednost) namjesti se tako, da kod najvećih dopustivih amplituda tinjavo svjetlo pokriva cijelu katodu. Kod snimanja mora tinjavo svjetlo i kod najglasnijih mjesta imati dužinu, koja je ispod ove najveće vrijednosti. S druge strane glasnoća kod snimanja ne smije biti ni premalena, jer u tom slučaju suviše dolazi do izražaja šum igle.



Sl. 112.

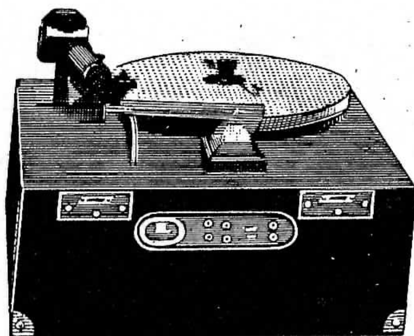
112. — Kod reprodukcije zvučnica se slijedeći brazde gibljе preko ploče automatski; kod snimanja potreban je naročiti uređaj koji glavu za urezivanje pomiče jednoliko i polako preko ploče, tako da nož za urezivanje urezuje neprekinutu spiralnu brazdu. Kod običnih gramofonskih ploča pomak glave je toliki da na jedan milimetar radijusa ploče dolaze tri i pol do četiri brazde. Na sl. 112 prikazan je naročito jednostavan uređaj za gibanje glave. Okretanje osovine motora prenosi se na vreteno *Sp* preko cijevi K i oklopljenog pogona G, koji ima dva stožasta zupčanika. Jedna opruga pritište polumaticu M koja se giblje po vretenu Sp i vodi zatik St. Ovo se gibanje preko poluge F i držača H prenosi na ručku T i gla-



Sl. 113.

vu za urezivanje *D*. Pomoću bočnog vijka *S* može se obujmica namjestiti na pravu visinu, tako da vreteno bude paralelno s pločom.

113. — Na sl. 113. vidimo uređaj za snimanje i reprodukciju, koji je predviđen za ugradnju u kovčeg. Jaki sinhroni motor pokreće teški tanjur od lijevanog željeza (na sl. 113. tanjur je skinut). Na osovini motora ispod tanjura nalazi se viševojni pužni vijak *S*. Polugom *H* stavlja se u pogon zupčanik *R* i vreteno *Sp* koje zahvaća nazupčani segment *Z*. Ovaj segment je u čvrstoj vezi s ručkom A_1; na ovaj način se glava za urezivanje *D* giblje jednoliko preko ploče. Obrtaljkom *B* mogu se načiniti brazde za oznaku, to jest brazde s velikim razmakom. Utegom *G*, koji se može pomicati po ručki A_1, namješta se ispravan pritisak glave (vidi odsjek 114). Osim ovoga opisani uređaj ima još jednu ručku A_2 s običnom zvučnicom *T* i regulatorom glasnoće *L*. Konačno, sl. 114. prikazuje opisani uređaj ugrađen u kovčeg. Na osovini tanjura vidimo još maticu s četkicama; na ovaj vijenac od četkica namata se za vrijeme snimanja izrezana nit. Na stražnjoj strani kovčega vide se nadalje različite priključnice, na koje se priključuju uređaji potrebni kod snimanja i reprodukcije ploče.



Sl. 114.

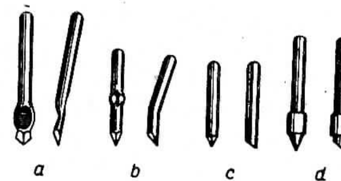
Ponavljanje

Kod *snimanja gramofonskih ploča*, dovode se g l a v i z a u r e z i v a n j e pojačani izmjenični naponi, koje daje mikrofon; ova električka energija se pomoću kotve prenosi na n o ž z a u r e z i v a n j e, koji u ploči urezuje tonske brazde. Kao i zvučnik, tako se i glava za urezivanje mora pomoću prilagodnog transformatora ispravno prilagoditi na izlazni stupanj pojačala. Da se dobiju glasne snimke mora g o v o r n a s n a g a pojačala iznositi barem 3 W. Da ne dođe do prelaženja jedne brazde u drugu kod velikih glasnoća, potrebno je napon na glavi kontrolirati na primjer pomoću a m p l i t u d n e c i j e v i. Kod snimanja mora se ručka s glavom za urezivanje pomoću posebnog uređaja polagano i jednolično gibati preko ploče, kako bi nož za urezivanje mogao urezivati neprekinutu, spiralnu tonsku brazdu.

Pitanja i odgovori

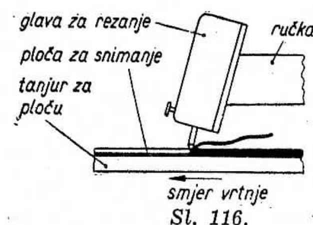
Pitanje: Kako nastaju tonske brazde kod snimanja gramofonskih ploča? *Odgovor:* Zvučni titraji primljeni od mikrofona pretvaraju se u električke titraje, koji se u niskofrekventnom pojačalu pojačavaju i dovode glavi za urezivanje; zbog ovoga kotva u glavi titra, a s njom i nož za urezivanje, koji u ploču urezuje tonske brazde. — *P.:* Kako je građena glava za urezivanje? *O.:* U principu jednako kao elektromagnetska zvučnica, ali je znatno jače konstrukcije. — *P.:* Koliku neizobličenu snagu mora dati pojačalo za snimanje? *O.:* Barem 3 W. — *P.:* Na što treba paziti kod priključivanja glave na pojačalo? *O.:* Glavu za urezivanje potrebno je pomoću transformatora ispravno prilagoditi na izlazni stupanj pojačala. — *P.:* Kako se može kontrolirati napon na glavi? *O.:* Najjednostavnije s amplitudnom cijevi. — *P.:* Zašto je kod snimanja ploča potreban uređaj za pomak? *O.:* Zato što se glava za urezivanje mora preko ploče polagano i jednolično gibati, kako bi nastala neprekinuta, spiralna tonska brazda. — *P.:* Koliki je obično pomak kod snimanja? *O.:* Toliki da na jedan milimetar radijusa ploče dolaze tri i pol do četiri brazde. — *P.:* Kako se stavlja u gibanje uređaj za pomak? *O.:* Preko zupčanika i pužnika koje tjera osovina motora.

114. — *Urezni pritisak* (pritisak glave za urezivanje) mora biti toliki da brazde urezane u ploču budu dovoljno duboke, da kod reprodukcije ne bi igla iskočila iz brazde. Općenito je širina brazde približno jednaka širini pruge koja nastaje između dviju brazda (vidi sl. 85). Za ovo je potreban urezni pritisak, koji, prema vrsti ploče i uz upotrebu čeličnog noža za urezivanje, iznosi 50 do 130 g, a uz upotrebu noža od safira ili dijamanta 30 do 100 g. Na sl. 115. vide se nekoliko noževa za urezivanje; ovdje se radi o noževima od čelika, safira i dijamanta koji su brušeni poput tokarskih noževa. Za obične snimke upotrebljavaju se uglavnom jeftini n o ž e v i o d č e l i k a. Za naročito kvalitetne snimke dolaze u obzir safirni i dijamantni noževi; ovakvi noževi se ne troše tako brzo kao čelični noževi[12]), ali su zato znatno skuplji i dosta su krhki. Na sl. 116. može se vidjeti, kako se nož mora umetnuti u glavu, pa da se dobije neprekinuta nit. Kod noža s »krilcima« (sl. 115*b*) ispravno umetanje je olakšano time što krilca upadaju u odgovarajuće ureze glave. Kut između osi noža i ravnine ploče mora, prema tvrdoći ploče, iznositi 75° do 89°; što je ploča mekša to veći mora biti ovaj kut.



a *b* *c* *d*

Sl. 115.



Sl. 116.

115. — Za amatersko snimanje upotrebljavaju se *ton-folije* koje za rezanje ne traže suviše veliku snagu, a opet su dovoljno tvrde, da se češće mogu reproducirati bez prebrzog trošenja. Danas uglavnom postoje: 1. Ž e l a t i n s k e p l o č e koje su najskuplje. Režu se s velikim pritiskom i treba ih čuvati od vlage i topline. 2. P l o č e s p o s e b n i m s l o j e m, koje imaju mnogo mekšu površinu nego želatinske ploče, a

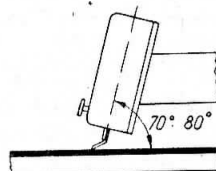
---

[12]) **S dobrim čeličnim nožem mogu se snimiti** najviše dvije strane ploče promjera 25 cm.

sastoje se od metalne ploče, koja je s obje strane pokrivena slojem sličnim laku ili celonu; ove ploče nisu osjetljive na vlagu i toplinu, ali zahtijevaju da se nož za urezivanje i pritisak noža tačno namjeste. 3. D e c e l i t - p l o č e koje se prave od materijala sličnog celonu (na primjer jednog vinilpolimerizata), neosjetljive su na vlagu i toplinu, ne mogu se razbiti i mogu dugo stajati uskladištene. Ove se ploče upotrebljavaju i u radiodifuznoj službi i smiju se reproducirati samo posebnom savijenom iglom. Obična igla bi odmah izderala meku površinu ploče i uništila snimku. Ove igle su od čelika (sl. 117), i tako su savijene, da je kut između igle i ravnine ploče manji, te igla lakše klizi po brazdi. Savijene igle se u zvučnicu učvršćuju onako, kako je prikazano na sl. 118.



Sl. 117.



Sl. 118.

116. — Također, kod snimanja ploča mora se paziti na ispravno *postavljanje ručke;* ovdje vrijede isti propisi, o kojima smo opširno govorili u odsjecima 97. i 98, te se ponovo na ovo nećemo navraćati. Nadalje smo u odsjecima 100. do 102. upoznali sve što je važno u vezi s tačnim *pridržavanjem broja okretaja tanjura* i sa svojstvima *pogonskih motora.* Dok je za r e p r o d u c i r a n j e bilo kojih ploča dovoljno da zakretni momenat bude 300 do 400 gcm, za s n i m a n j e ploča potrebno je imati motor s mnogo većim zakretnim momentom; ovdje motor treba da svlada ne samo trenje između noža i ploče, nego i otpor, kojim se materijal protivi izrezivanju niti. Stoga motori za snimanje (za ploče promjera 250 mm i 300 mm) moraju imati zakretni momenat od 5 000 do 6000 gcm; za naročito mekane i malene ploče (promjer do 200 mm) zakretni momenat ne treba biti veći od kojih 3 000 gcm. Ovakvi motori su konstrukcije slične onima, koji su prikazani na sl. 99. i 100.

Ponavljanje

P r i t i s a k g l a v e za urezivanje mora biti tako velik, da širina brazde bude približno jednaka širini pruge koja ostaje između brazda. Kod snimanja ploča upotrebljavaju se na poseban način brušeni n o ž e v i od čelika, safira i dijamanta. Za snimanje se upotrebljavaju želatinske ploče, ploče s posebnim slojem i decelit-ploče. Ove se ploče zbog meke površine smiju reproducirati samo naročitim s a v i j e n i m čeličnim iglama. Z a p o s t a v l j a n j e r u č k e i p r i d r ž a v a n j e b r o j a o k r e t a j a vrijede kod snimanja isti uvjeti kao i za reprodukciju. M o t o r i, koji se upotrebljavaju kod snimanja, moraju, već prema tvrdoći i veličini ploče, imati zakretni momenat od 3 000 do 6 000 gcm.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koliki mora biti pritisak glave za urezivanje kod snimanja ploča? *Odgovor:* Toliki, da su tonske brazde dovoljno duboke. Širina brazde treba da bude otprilike jednaka širini pruge između dviju brazda. — *P.:* O čemu ovisi veličina pritiska glave? *O.:* O vrsti ploče i noža za urezivanje. — *P.:* Koje smo vrste noževa za urezivanje upoznali? *O.:* Upoznali smo čelične, safirne i dijamantne noževe. — *P.:* Kakvi se noževi uglavnom upotrebljavaju za obično snimanje? *O.:* Čelični noževi. — *P.:* Od čega se prave ploče za snimanje? *O.:* Od želatine (želatinske ploče), zatim od metala, koji je s obje strane prevučen slojem sličnim laku ili celonu, i napokon od nekog umjetnog materijala. — *P.:* Na što treba paziti kod reprodukcije ovakvih ploča? *O.:* Moraju se upotrijebiti posebne savijene igle, da se ne ošteti suviše meka površina ploča. — *P.:* Kako treba postaviti ručku kod uređaja za snimanje? *O.:* Tačno onako kao kod uređaja za reprodukciju. — *P.:* Koliki mora biti zakretni momenat motora za snimanje? *O.:* Općenito 5 000 do 6 000 gcm; samo kod malenih i naročito mekih ploča dovoljno je da zakretni momenat bude oko 3 000 gcm.

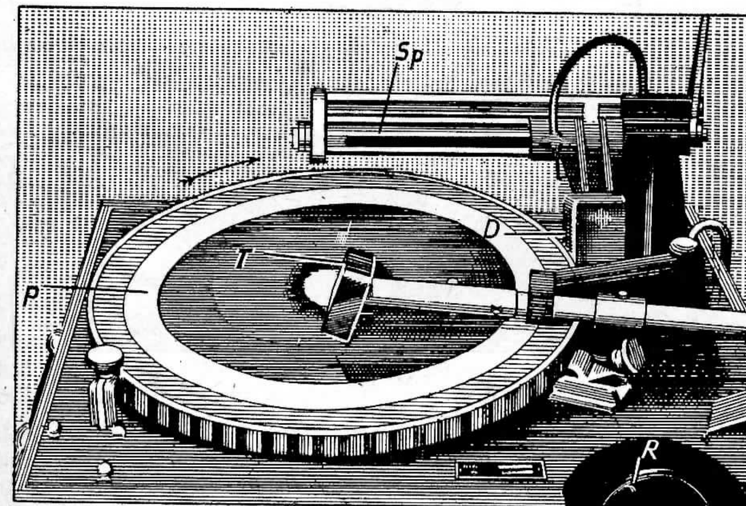
Pitanja

42. Koje je uređaje potrebno imati za snimanje ploča?
43. Koji se zahtjevi stavljaju na ploče za snimanje?
44. Zašto se folije ne smiju reproducidati običnom iglom?

Zadaci

29. Kod uređaja za pomak prema sl. 112. visina jednog navoja na vretenu *Sp* iznosi 0,5 mm, a stožasti zupčanik, koji se nalazi u kutiji *G*, ima 20 zubaca. Koliko zubaca mora imati stožasti zupčanik, koji se nalazi na desnom kraju vretena ako na 1 mm radijusa ploče imaju doći 4 tonske brazde?

30. Kako se obična gramofonska ploča može kopirati pomoću uređaja za snimanje na folijama?

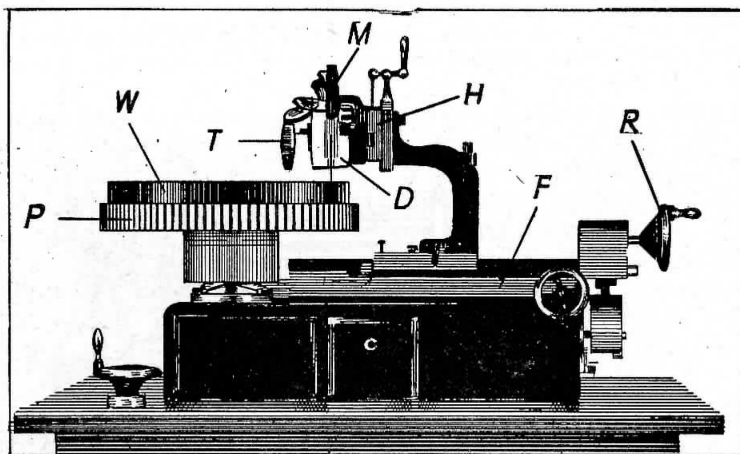


Sl. 119.

117. — Dosada smo opisivali samo razmjerno jednostavne uređaje za snimanje, koji su predviđeni u prvom redu za a m a t e r s k o s n i m a n j e. Na sl. 119. vidimo uređaj za kvalitetno snimanje i reprodukci-

ju ugrađen u kovčeg. Ovim uređajem, koji se mnogo upotrebljava u radiodifuznim stanicama, snimaju se tonske folije. U kovčegu ugrađeni sinhroni motor tjera tanjur P preko spojke, koja ima zadatak da otkloni eventualne torzione titraje. Protivno prije opisanim uređajima, ovdje niskoomska urezna glava D putuje posve radijalno preko ploče. Da pogon bude što mirniji, prijenos na vreteno za pomak Sp vrši se pomoću zupčanika od turbaksa (materijal načinjen od tekstila i neke smole). Kotačem R mogu se zakretom nadesno načiniti brazde za označivanje, koje, u slučaju da se snimanje vrši bez stanke na dva uređaja, olakšava kod reprodukcije bez stanke prijelaz s jednog uređaja na drugi. Osim toga predviđena je niskoomska zvučnica T za reprodukciju tonskih folija. Kod snimanja na decelit-pločama čeličnim nožem dobiva se pravocrtno područje frekvencija od kojih 50 do 3 000 Hz i dinamika od 44 dB (vidi odsjek 88). Uz 78 okretaja na minutu i brzinsku amplitudu od 125 mm/s urezuje se 36 brazda na 10 mm radijusa ploče.

118. — Konačno na sl. 120. vidimo visokokvalitetni stroj za snimanje ploča. Ovim strojem, koji je predviđen za tvornice ploča, radio-



Sl. 120.

-stanice, laboratorije, muzičke škole itd., snima se na *voštanim pločama.* Od ovih »voskova« prave se »matrice«, pomoću kojih se tlače poznate crne gramofonske ploče. Posebno konstruiranom zvučnicom T mogu se voštane ploče bez znatnijeg gubitka na kvaliteti i glasnoći nekoliko puta direktno reproducirati. Tanjur P nije sa svojom osovinom vezan čvrsto. Okomiti pritisak tanjura P i voštane ploče W preuzima tlačni kuglični ležaj podložen pustom; time se sprečava prenošenje eventualnih torzionih titraja na tanjur. Za pogon stroja upotrebljava se sinhroni motor. Da se potresanje motora ne prenosi na stroj za snimanje, umetnute su u pogonsku osovinu elastične spojne ploče. Urezna glava D giblje se radijalno po tračnicama F, između kojih se nalazi vrlo fino izrađeno vreteno za pomak. Na desnoj strani stroja vidi se kotač R, pomoću kojeg se prave brazde za označivanje. Ispravna dubina brazde namješta se uređajem A i kontrolira mikroskopom M koji povećava 40 puta. Urezna glava D pričvršćena je na ručku, koja na kraju ima prigušivač s uljem da se spriječi njihanje. Ispod urezne glave postavljena je usisna cijev kroz koju odlaze izrezane voštane niti (na primjer pomoću običnog sisača za prašinu). Da se za vrijeme snimanja može stroboskopski kontrolirati broj okretaja, nalazi se na rubu tanjura odgovarajuća razdioba na pruge (vidi odsjek 100). Urezivanjem pomoću safirnog noža može se kod voštanih ploča dobiti praktički pravocrtna frekventna karakteristika od kojih 50 do 5 000 Hz uz dinamiku od 49 dB. Pri tome brzinska amplituda iznosi 125 mm/s i broj okretaja 78 okr./min.; na 10 mm radijusa ploče urezuje se 40 brazda.

Ponavljanje

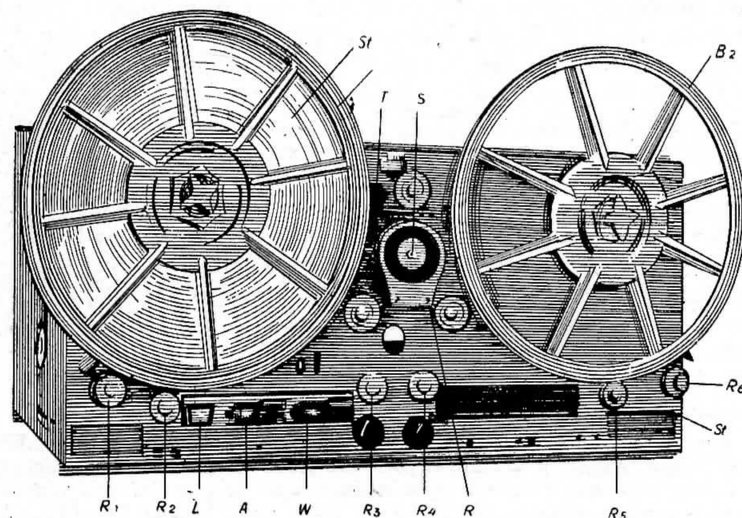
Kod visokokvalitetnih uređaja za snimanje ploča pogonski sinhroni motor je s tanjurom vezan pomoću elastične spojke; time se otklanja prenošenje torzionih titraja i trešnje motora na tanjur. Urezna glava se kod ovih uređaja pomiče radijalno na ploču po t r a č n i c a m a. Da ne dođe do njihanja urezne glave, imaju strojevi za snimanje na v o s k u posebno prigušenje s uljem.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se kod visokokvalitetnih uređaja za snimanje ploča sprečava prenošenje mehaničkih titraja motora na tanjur? *Odgovor:* Ugrađivanjem elastične spojke u pogonsku osovinu. — *P.:* Na koji način se postiže radijalno vođenje urezne glave? *O.:* Vođenjem po tračnicama. — *P.:* Kako se može spriječiti njihanje urezne glave? *O.:* Uljnim prigušivačem. — *P.:* Mogu li se snimljene voštane ploče bez daljnjega reproducirati? *O.:* Mogu, ali samo naročito konstruiranom zvučnicom.

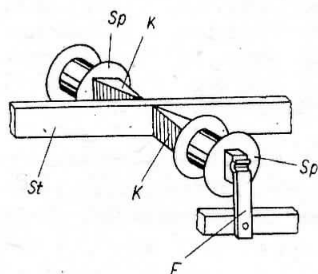
119. — Sasvim drugačije nego uređaji za snimanje na pločama rade uređaji s *elektromagnetskim snimanjem zvuka.* Ovdje se radi o uređajima, kod kojih prilikom snimanja i reprodukcije ne smeta potresanje. Zbog toga su naročito prikladni za snimanje reportaža iz v o z i l a, kao što su avioni, željeznice, brodovi itd. Osim ovoga, imaju ovi uređaji tu prednost, što se vrijednost snimke može kontrolirati već za vrijeme snimanja. Nadalje, snimka se može bez utjecaja na kvalitetu po volji često reproducirati, a isto tako izbrisati i ponovo snimiti. S uređajima za elektromagnetsko snimanje dobiva se razmjerno dugo neprekinuto trajanje reprodukcije. Najprije ćemo se upoznati sa *strojem za snimanje na čeličnoj vrpci* kakav vidimo na sl. 121. Vrpca, koja se magnetizira, široka je 3 mm, a debljine je 0,08 mm. Između dva velika kotača B_1 i B_2, na koje se vrpca namata, prolazi vrpca St kroz glave za snimanje i

brisanje A i L i kroz dvije glave za reprodukciju W, zatim preko šest valjaka za vođenje vrpce R_1 do R_6, i konačno preko pogonskog kotača



Sl. 121.

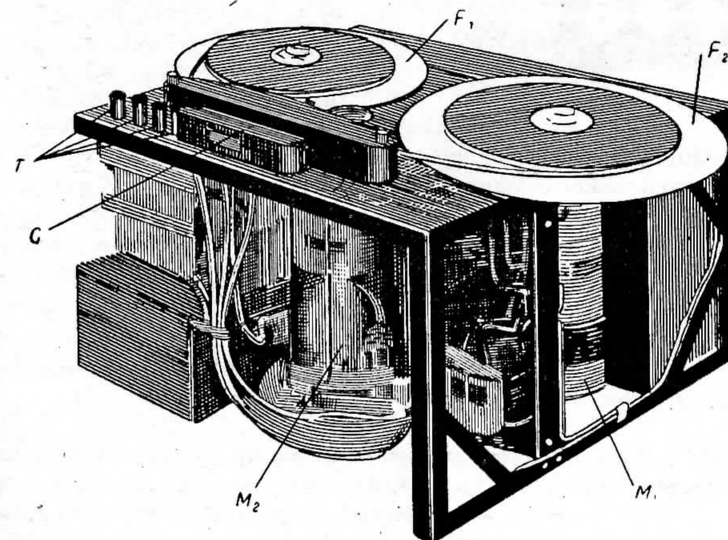
R. Ovaj kotač spojen je sa sinhronim motorom, zbog čega se čelična vrpca St giblje uvijek istom brzinom. Beskonačni tekstilni remen T, koji se napinje kotačem S, i koji tlači vrpcu prema pogonskom kolu R, ne dopušta da se vrpca kliže. Glave za snimanje, brisanje i reprodukciju sastoje se od dvije magnetske jezgre K, na kojima se nalaze zavojnice Sp (sl. 122). Zašiljene jezgre K, koje se u svom uzdužnom smjeru mogu gibati, jedna prema drugoj su malo pomaknute. Njih prema vrpci tlače opruge F. U glavi za snimanje se niskofrekventna izmjenična struja, koja dolazi iz pojačala, superponira istosmjernoj struji magnetiziranja. Tako nastaje promjenljivo magnetsko polje, u kojem se vrpca u taktu tonske frekvencije različito jako magnetizira. Kod reprodukcije proizvodi izmjenična magnetska indukcija vrpce u glavi za reprodukciju tonfrekventni izmjenični napon, koji se na poznati način u pojačalu pojačava i dovodi zvučniku. Brisanje snimke vrši se u glavi za brisanje, i to tako jakom strujom magnetiziranja, da se čelična



Sl. 122.

vrpca magnetski zasiti, te magnetske razlike nestaju. Nakon toga se vrpca u glavi za snimanje pomoću istosmjerne struje, koja je protivna struji brisanja, skoro potpuno razmagnetizira, te se može vršiti novo snimanje. Kod stroja za snimanje na čeličnu vrpcu proteže se praktički pravocrtno frekventno područje od kojih 70 Hz do 5 500 Hz. Uz brzinu vrpce od 1,5 m/s postiže se trajanje reprodukcije od 30 minuta i dinamika od kojih 38 dB.

120. — Kao daljnji uređaj za elektromagnetsko snimanje upoznat ćemo *magnetofon* (sl. 123). Kod ovog uređaja vrpca prelazi preko valja-

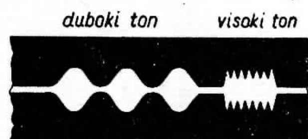


Sl. 123.

ka za vođenje i pogonskog valjka, a zatim prolazi ispred prstenastih glava za snimanje, brisanje i reprodukciju. Dva motora namataju vrpcu na lijevi i desni kotač za vrpcu. Treći motor jednoliko vuče vrpcu ispred glava. Proces magnetiziranja u principu je sličan onom kod stroja za snimanje na čeličnoj vrpci. Kod magnetofona kao vrpca služi »magnetski film«, koji je, protivno čeličnoj vrpci, lagan i tanak, a prije svega može se rezati i lijepiti. Nemagnetični dio filma je vrpca od celuloznog acetata širine 6,5 mm i debljine 0,03 mm. Na ovu vrpcu nanesen je oko 0,02 mm debeli sloj emulzije sa željezom. U jednom priručnom kolutu ima oko 1 000 m ovakvog magnetskog filma. S magnetofonom se mogu dobiti visokokvalitetne snimke muzike i govora. Praktički pravocrtno frekventno područje nalazi se između 50 i 5 500 uz dinamiku od 38 dB. Kod brzine vrpce od 770 mm/s dobiva se neprekinuto trajanje reprodukcije od 22 minute. Još ćemo spomenuti, da se ni kod jednog

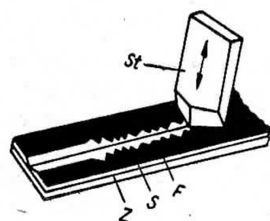
načina elektromagnetskog snimanja zvuka ne dobiva pravocrtna frekventna krivulja bez daljnjega; ovakva krivulja se dobiva tek primjenom odgovarajućih korektora.

121. — Nadalje ćemo se upoznati sa *zvučnim filmom*, kod kojeg se snimanje zvuka vrši kao kod tonfilma na filmsku vrpcu. Na sl. 124. vidi se tonska brazda na zvučnom filmu. Ovdje se zvučni titraji pojavljuju kao svijetle pruge različite dužine i širine. Kod reprodukcije osvjetljuje se zvučni film kroz usku pukotinu. Promjenljivo svjetlo, koje prolazi kroz film i koje se mijenja u taktu snimljenih zvučnih titraja, pada na fotoelektričku ćeliju i u njoj se pretvara u odgovarajuće promjene struje. Ova struja na opteretnom otporu stvara izmjenični napon, koji se dovodi niskofrekventnom pojačalu. Na sl. 125. vidimo uređaj za reprodukciju zvučnog filma u obliku kovčega. Kod ovog uređaja širina svijetle pukotine je 0,008 mm, a širina filma 5,83 mm. Film se jednoliko giblje brzinom od 456 mm/s, što kod duljine filma od 300 m odgovara trajanju reprodukcije od 11 minuta. S ovim uređajem postiže se vrlo dobra kvaliteta reprodukcije. Frekventno područje nalazi se između 40 i 6 500 Hz uz dinamiku od 41 dB. Zbog toga se zvučni film upotrebljava za posebne svrhe također i u radiodifuznoj službi.

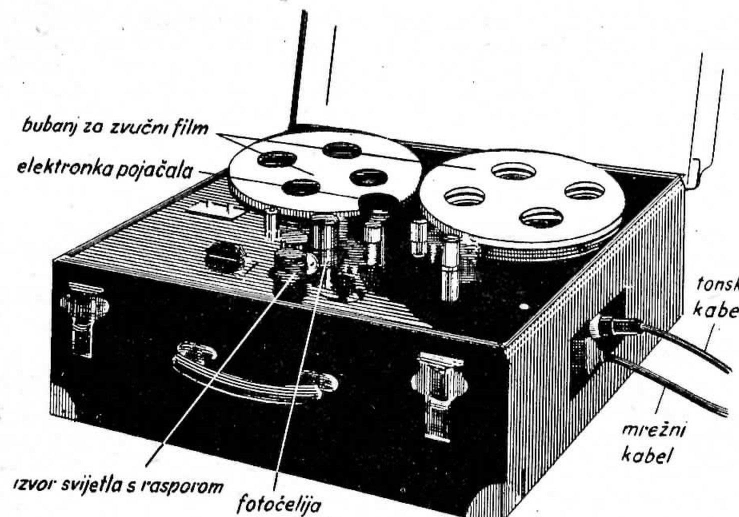


Sl. 124.

122. — Na koncu ćemo spomenuti da postoji i *mehanografički način snimanja zvuka* (P h i l i p s - M i l l e r o v n a č i n), kod kojega se snimanje vrši po principima snimanja zvuka na ploče, a reprodukcija pomoću fotoelektričke ćelije. Kod ovog načina snimanja vrpca se sastoji od tri sloja. Najdonji sloj *Z* (sl. 126) načinjen je od prozirnog celuloida, srednji sloj *S* od prozirnog materijala prikladnog za urezivanje (na primjer želatina), a gornji sloj *F* od vanredno tankog potpuno neprozirnog premaza. Safirni nož *St*, koji je brušen pod sasvim određenim kutovima, urezuje u taktu niskofrekventnih titraja u srednjem sloju *S* d u b i n s k e b r a z d e (vidi odsjek 83). Ovim urezivanjem skida se djelomično sloj boje. Ako je nož ispravno postavljen, izrezuje se na ovaj način tonska brazda, kod koje je širina četrdeset puta veća od dubine. Mehanografički način snimanja zvuka, koji se odlikuje vrlo širokim frekventnim područjem, velikom dinamikom i vrlo malenim šumom, u pogledu kvalitete tona u najmanju ruku je jednak zvučnom filmu.



Sl. 126.



Sl. 125.

Ponavljanje

Kod *elektromagnetskog načina snimanja zvuka* snimanje se vrši magnetiziranjem čelične vrpce (s t r o j z a s n i m a n j e n a č e l i č n o j v r p c i) ili filma, koji je s jedne strane pokriven slojem emulzije u kojoj ima mnogo željeza (m a g n e t o f o n). Ovi uređaji za snimanje nisu osjetljivi na potresanje; trajanje reprodukcije kod ovih uređaja je razmjerno dugo. Brisanjem magnetske snimke vrpca se može ponovo upotrijebiti. Kod *zvučnog filma* snimanje se, kao kod tonfilma, vrši na običnoj filmskoj vrpci; kod reprodukcije zvučnog filma upotrebljava se fotoelektrička ćelija. Kod *mehanografičkog snimanja zvuka* po *Philips-Milleru* snima se na vrpci sastavljenoj od tri sloja; gornji sloj je neproziran; u gornja dva sloja urezuju se pomoću safirnog noža tonske brazde, i to dubinski rez. Reprodukcija se i kod ovog načina snimanja vrši pomoću fotoelektričke ćelije.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se u principu vrši elektromagnetsko snimanje zvuka? *Odgovor:* Magnetizira se čelična vrpca ili film pokriven slojem emulzije, u kojoj ima mnogo željeza. — *P.:* Kakve prednosti ima ovaj način snimanja? *O.:* Snimanju ne smeta mehaničko potresanje (na primjer u vozilima) i snimka se može po volji često reproducirati; osim toga trajanje reprodukcije je dugo i vrpca se može poslije magnetskog brisanja ponovo upotrijebiti za snimanje. — *P.:* Kako izgleda snimka zvuka na zvučnom filmu? *O.:* Na vrpci se vidi pruga, koja ima dvostruke valove

različite visine i dužine. — *P.*: Kako se vrši mehanografičko snimanje? *O.*: Safirni nož urezuje tonske brazde s dubinskim rezom u vrpcu koja se sastoji od tri sloja, i pri tome djelomično skida gornji, neprozirni sloj boje. — *P.*: Kod kojeg načina snimanja se za reprodukciju upotrebljava fotoelektrička ćelija? *O.*: Kod zvučnog filma i kod mehanografičkog načina.

Pitanja

45. Koje smo uređaje za snimanje zvuka upoznali?
46. Kako se vrši reprodukcija kod uređaja za elektromagnetsko snimanje zvuka?
47. Kakve prednosti ima magnetski film pred čeličnom vrpcom?

Zadaci

31. Dinamika, to jest odnos amplituda smetnji prema najvećim tonskim amplitudama, iznosi kod nekog uređaja za snimanje zvuka 1 : 80. Koliko je to decibela?

III. Najvažnije metode mjerne radio-tehnike

Općenito o mjernoj radio-tehnici

123. — Teorija i mjerna tehnika su osnove svakog tehničkog napretka. Ni najbolja teorija nema velike vrijednosti, ako se ne da primijeniti u praksi i iskušati. Ovo naročito vrijedi u radio-tehnici. Bez sistematskog razvijanja i primjene *mjerne tehnike* bilo bi posve nemoguće radio-tehniku dovesti na tako visok stupanj koji je ona danas postigla. Od prijemnika, pojačala ili odašiljača dobiva se tek onda najveći učinak, ako su njihovi sastavni dijelovi ispravno dimenzionirani i jedan prema drugome ugođeni. No ovo se ne može postići bez primjene odgovarajućih mjernih uređaja i mjernih metoda. Također i za kontrolu uređaja u pogonu neophodno su potrebni mjerni instrumenti. Tako se, na primjer, uredan pogon nekog odašiljača uopće ne bi mogao održavati bez pomnog kontrolnog mjerenja u pojedinim stupnjevima. Na temelju tehničkog znanja, koje ćemo steći studiranjem ove knjige, moći ćemo si predstaviti, kako je mjerna radio-tehnika vrlo opsežno područje. Stoga ćemo se ovdje ograničiti samo na o s n o v n e mjerne metode, da dobijemo barem opći pregled mjerne radio-tehnike. No ovo će ipak biti dovoljno, jer se mjerna radio-tehnika temelji na mjernim metodama opće elektrotehnike i uglavnom na istim fizikalnim zakonima kao i opća elektrotehnika.

124. — Još više nego u dosadanjoj tehnici spajanja, moramo u mjernoj tehnici uvijek misliti na to, da *električka i magnetska rasipna polja* mogu znatno promijeniti teoretski način rada nekog mjernog sklopa. Ovo vrijedi naročito za v i s o k o f r e k v e n t n a mjerenja. U spojevima naime ne dolaze do izražaja samo induktiviteti i kapaciteti u zavojnicama i kondenzatorima, nego i induktiviteti vodova i kapaciteti vodova prema zemlji, kao i kapacitet metalnih dijelova jednog prema drugom. Zbog ovih »rasipnih induktiviteta« i »rasipnih kapaciteta« može doći do neželjenih veza i prijenosa energije, te do pogreške u mjerenju. U ovakvom slučaju pomaže samo pomno o k l a p a n j e dotičnih dijelova i vodova (vidi dio I, odsjeke 224 i 225, zatim dio II, odsjeke 97 i 363). Potpunim oklapanjem mjernog uređaja (uzemljeno metalno kućište!) otklanja se utjecaj vanjskih štetnih polja, što je naročito važno kod mjerenja vrlo malenih visokofrekventnih ili niskofrekventnih napona i struja.

125. — U većini slučajeva može se mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih procesa svesti na jednostavno mjerenje izmjeničnih napona i struja. Kod *instrumenata s direktnim pokazivanjem* može se tražena vrijednost očitati direktno kao otklon kazaljke. Kod *poredbenih mjerenja* mjereni se elemenat (na primjer otpornik, zavojnica, kondenzator itd.) nadomješta baždarenom »normalom«, koja se može regulirati; »normala« se dotle ugađa, dok se mjerene veličine (većinom naponi i struje) kod prekapčanja s mjerenog elementa na »normalu« ne mijenjaju. Naročito osjetljiva je *metoda mosta* ili *kompenzaciona metoda;* ovdje se radi o poništavanju (kompenzaciji) mjerene veličine s posve jednakom, ali protufaznom normalnom veličinom, tako da jedna grana mjernog spoja, koji se sastoji od više grana, bude bez struje, odnosno napona. Pokazni instrument (indikator, mjerni instrument) treba dakle namjestiti na otklon nula (»nul-metoda«). Kod mjerenja izmjeničnom strujom za ovo se zbog svoje velike osjetljivosti često upotrebljava slušalica. Velika prednost metode mosta sastoji se u tome, što nije potrebno da indikator bude baždaren, i što se uz upotrebu osjetljivih indikatora može postići vrlo velika tačnost. Postoje još i mnoge druge mjerne metode, ali gore spomenute metode su ipak najvažnije.

Ponavljanje

Mjerna radio-tehnika se osniva na mjernim metodama opće elektrotehnike. U svim mjernim spojevima, a naročito kod mjerenja visokofrekventnih procesa, mora se paziti na to, da se oklapanjem u što većoj mjeri otkloni djelovanje električkih i magnetskih rasipnih polja; zbog rasipnih induktiviteta i rasipnih kapaciteta mogu naime nastati kod mjerenja velike pogreške. Mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih procesa može se većinom svesti na jednostavno mjerenje izmjeničnih napona i struja. Kod instrumenata s direktnim pokazivanjem dobiva se tražena vrijednost direktno iz otklona kazaljke, dok se kod poredbenih mjerenja mjereni elemenat uspoređuje s baždarenom »normalom«, koja se može regulirati. Najosjetljivija mjerna metoda je metoda mosta ili metoda kompenzacije, kod koje se mjerena veličina poništava jednako velikom protufaznom normalnom veličinom; kao indikator može se ovdje upotrijebiti nebaždareni, ali osjetljivi instrument.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakvo praktičko značenje ima mjerna radio-tehnika? *Odgovor:* Tek mjerna radio-tehnika omogućuje razvoj, izgradnju i kontrolu radiotehničkih uređaja svih vrsta. — *P.:* Uslijed čega mogu kod mjerenja visokofrekventnih i niskofrekventnih procesa nastati velike pogreške? *O.:* Uslijed djelovanja električkih i magnetskih rasipnih polja. — *P.:* Kakvo djelovanje imaju ova polja? *O.:* Rasipni induktiviteti i kapaciteti uzrokuju neželjene veze i prijenose energije. — *P.:* Kako se ovo može spriječiti? *O.:* Oklapanjem pojedinih dijelova i dovoda mjernog spoja, kao i ugradnjom cijelog mjernog uređaja u uzemljeno metalno kućište. — *P.:* Koje su tri osnovne mjerne metode? *O.:* Direktno mjerenje traženih veličina, poredbeno mjerenje i metoda mosta ili metoda kompenzacije. — *P.:* Koja je od ovih metoda najosjetljivija? *O.:* Metoda mosta. — *P.:* Na kojem se principu zasniva ova metoda? *O.:* Dotična

mjerena veličina kompenzira se jednako velikom protufaznom normalnom veličinom tako, da jedna grana mjernog spoja ostane bez struje. — *P.:* Čime se može pokazati da struja ne teče? *O.:* Nebaždarenim osjetljivim instrumentom ili kod mjerenja izmjeničnom strujom također pomoću slušalice.

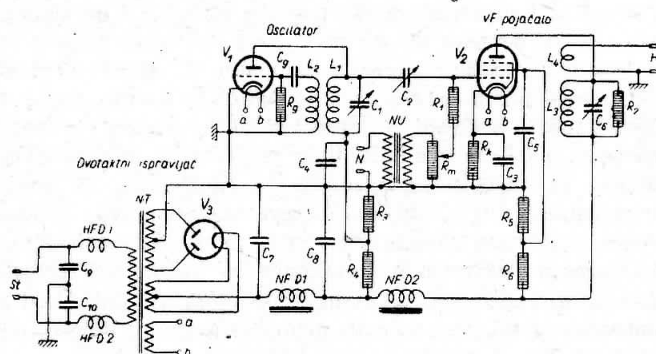
Mjerni visokofrekventni generatori

126. — U mjernoj radio-tehnici su za mnoga mjerenja i ispitivanja potrebni visokofrekventni izmjenični naponi; ove napone proizvode *mjerni visokofrekventni generatori* (mjerni odašiljači). Ovdje se radi o proizvođenju visokofrekventnih titraja, kojih frekvencija i amplituda s obzirom na svrhu, za koju se odašiljač upotrebljava, mora biti tačno poznata. Glavno područje primjene mjernog odašiljača je ispitivanje električkih svojstava radio-prijemnika, dakle prije svega ispitivanje osjetljivosti, selektivnosti i kvalitete tona. Tek pomoću mjernog odašiljača može se poduzeti ugađanje istohoda promjenljivih kondenzatora prijemnika (vidi dio II, odsjek 262), a isto tako i usklađivanje oscilatora i ulaznog kruga kod superprijemnika pomoću serijskih i paralelnih kapaciteta (vidi dio II, odsjeke 293 do 295), kao i ugađanje međufrekventnih pojasnih filtara na međufrekvenciju (vidi dio II, odsjek 301). Mjernim odašiljačem, koji je moduliran nekim tonom, može se osim toga dobiti tonska frekventna karakteristika prijemnika. Na temelju ovoga može se ocijeniti kvaliteta tona prijemnika. Mjerni odašiljač se može također upotrijebiti za ugađanje ili ispitivanje još neugrađenih dijelova prijemnika ili odašiljača (otpornika, zavojnica, kondenzatora, transformatora itd.), za snimanje rezonantnih krivulja titrajnih krugova, za baždarenje elektronskih voltmetara, za istraživanje svojstava visokofrekventnih demodulatora, za mjerenje kuta gubitaka kod zavojnica i kondenzatora itd. Već iz ovih primjera može se vidjeti, od kolike je važnosti mjerni odašiljač za radio-industriju i nauku.

127. — Na mjerni odašiljač postavljaju se vrlo veliki zahtjevi. Prije svega mjerni odašiljač mora imati vrlo veliku konstantnost frekvencije, to jest namještena mjerna frekvencija ne smije se za vrijeme pogona osjetno promijeniti; tako se, na primjer, od dobrog mjernog odašiljača, traži da pogreška kod frekvencije 1 500 kHz iznosi samo $\pm$ 0,003%, dakle $\pm$ 45 Hz! Nadalje mora kod mjernog generatora postojati mogućnost za tačno očitavanje na skali (podjela s noniusom!). S obzirom na što mnogostraniju primjenu mora mjerni odašiljač imati veliko područje frekvencija; podjelom na mjerna područja (prekapčanje ili promjena zavojnica) može se na primjer obuhvatiti područje od 100 kHz do 15 MHz (valne dužine od 3 000 do 20 m). Također je potrebno da se izlazni napon može regulirati, i to u području od nekoliko dekada; pri tome promjena izlaznog napona ne smije niukoliko utjecati na tačnost frekvencije. Da bi se kod mjerenja ili ispitivanja nekog spoja stvorile iste prilike kakve postoje za

vrijeme pogona, potrebno je da se kod mjernog odašiljača može mijenjati stupanj modulacije (vidi dio I, odsjek 193); mora postojati mogućnost da stupanj modulacije bude i do 80%. Na koncu ćemo još jednom spomenuti da mjerni odašiljač mora biti, s obzirom na vanjska i unutarnja električka i magnetska polja, besprijekorno oklopljen (vidi odsjek 124). Iz svega ovoga se, dakle vidi da je dobar mjerni odašiljač precizan instrument, te s njim tako treba i postupati.

128. — Sada ćemo se upoznati s jednim izvedenim mjernim odašiljačem. Mjerni odašiljač se u principu sastoji od samouzbudnog oscilatora, modulacionog uređaja i promjenljivog visokofrekventnog potenciometra, da bi se mogli dobiti poznati, i to i oni najniži visokofrekventni naponi. Na sl. 127. vidimo shemu mjernog odašiljača s modulacijom istosmjernog napona rešetke, s pogonom iz mreže. Samouzbuđivani oscilator s triodom V_1 (na



Sl. 127.

primjer *AC* 2) radi u poznatom, *Meissnerovom spoju* (vidi dio II, sl. 132). L_1—C_1 je promjenljivi anodni titrajni krug koji određuje frekvenciju, L_2 reakciona zavojnica, a R_g—C_g spoj, pomoću kojeg se automatski dobiva ispravni negativni prednapon (dio II, odsjek 367. i sl. 252). Zavojnice L_1 do L_4 mogu se promijeniti, da bi se dobilo što veće visokofrekventno područje. Visokofrekventni titraji, koje proizvodi oscilator, preko promjenljivog kondenzatora C_2 dolaze u visokofrekventno pojačalo s pentodom V_2 (na primjer AL 4). U anodnom krugu ove elektronke nalazi se drugi promjenljivi titrajni krug L_3—C_6, kod kojeg je kondenzator C_6 mehanički spojen s kondenzatorom C_1. Modulacija se vrši u rešetkinom krugu visokofrekventnog pojačala (o modulaciji istosmjernog napona rešetke vidi dio II, odsjek 400 i sl. 281). Prednapon elektronke V_2 nastaje automatski na katodnom otporu

R_k koji je premošten kondenzatorom C_3. Kondenzatorom C_2 se visokofrekventni napon, koji se dovodi elektronki V_2, namješta na pravu vrijednost. Kod modulacije istosmjernog napona rešetke ovisi naime jakost istosmjerne anodne struje modulirane elektronke o veličini dovedenog visokofrekventnog napona; zato se katodni otpor R_k mora odabrati tako, da radna tačka elektronke V_2 bude na donjem koljenu U_g—I_a-karakteristike (vidi dio II, odsjek 399). Modulacioni napon iz nekog tongeneratora dovodi se preko priključnica *N*, niskofrekventnog transformatora *NU*, potenciometra R_m i odvodnog otpora R_1 uzbudnoj rešetki elektronke V_2. Potenciometrom R_m može se u širokim granicama mijenjati stupanj modulacije. Drugi titrajni krug L_3—C_6 ima zadatak da iz visokofrekventnog napona isfiltrira harmoničke titraje, koji nastaju kod modulacije istosmjernog napona rešetke. Da ne dođe do zapostavljanja visokih modulacionih frekvencija (rezanje bočnih pojaseva!) titrajni krug L_3—C_6 dovoljno je jako prigušen paralelnim otporom R_2. Pojačani visokofrekventni napon dolazi sada preko zavojnice za vezu L_4 i priključnica *H* na promjenljivi visokofrekventni potenciometar (vidi odsjek 131). Mrežni dio odašiljača izveden je s dvotaktnim ispravljanjem, koje se vrši pomoću ispravljačice V_3. R_3—R_4, odnosno R_5—R_6 su potenciometri za istosmjerni anodni napon elektronke V_1, odnosno za istosmjerni napon zaštitne rešetke elektronke V_2, *NFD* 1 — C_8 — *NFD* 2 je dvočlani filtar, C_7 ulazni kondenzator, *NT* mrežni transformator (s priključnicama *a*— *b* za žarenje elektronke V_1 i V_2, *HFD* 1 — C_9 — — C_{10} — *HFD* 2 visokofrekventni zapor, da se spriječi ulaženje visokofrekventnih titraja iz odašiljača u rasvjetnu mrežu, i *St* mrežni utikač. Ovim mjernim odašiljačem može se postići stupanj modulacije do 50% uz frekventno područje od 50 do 10 000 Hz.

129. — *Baždarenje* mjernog odašiljača može se izvršiti pomoću oscilatora s kvarcom (vidi dio II, odsjeke 376 do 378). Pri tome se ovaj pomoćni oscilator namjesti na neku poznatu frekvenciju, na primjer na osnovnu frekvenciju od 100 kHz, a njegovi osnovni titraji se primaju pomoću jednog prijemnika; istodobno se ukopča i mjerni odašiljač i ugodi tako, da u prijemniku nastane treptajni ton, koji nastaje superponiranjem pomoćnih titraja i titraja iz mjernog odašiljača. Tada je mjerni odašiljač ugođen tačno na frekvenciju 100 kHz. Druge baždarne tačke dobiju se ugađanjem na harmoničke frekvencije pomoćnog oscilatora; pri tome možemo ići i do pedesetog harmoničkog kvarcne normale. Na kratkovalnom području upotrebljava se kvarcna normala s osnovnom frekvencijom od 1 MHz; tada se može ići i do dvadesetog harmoničkog.

Ponavljanje

Visokofrekventne napone, koji se upotrebljavaju za mjerenje i ispitivanje, proizvode *mjerni odašiljači*. Mjernim odašiljačem mogu se ispitati električka svojstva prijemnika, a također prijemnik se može ugo-

diti na najveći učinak; nadalje mjerni odašiljač služi za mjerenje odnosno ispitivanje otpornika, zavojnica, kondenzatora, transformatora, titrajnih krugova, visokofrekventnih demodulatora itd. Dobar mjerni odašiljač mora imati vrlo veliku konstantnost frekvencije i tačnost očitavanja, veliko frekventno područje, mogućnost reguliranja izlaznog napona i stupnja modulacije. U principu mjerni odašiljač se sastoji od samouzbudnog oscilatora, visokofrekventnog potenciometra i uređaja za modulaciju. U našem izlaganju upoznali smo spoj mjernog odašiljača, kod kojeg su se visokofrekventni titraji proizvedeni u oscilatoru pojačavali u jednostepenom visokofrekventnom pojačalu i modulirali po metodi modulacije istosmjernog napona rešetke. B a ž d a r e n j e mjernog odašiljača može se izvesti pomoću osnovnih i harmoničkih titraja nekog pomoćnog oscilatora s kvarcom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je mjerni odašiljač? *Odgovor:* Uređaj, kojim se proizvode visokofrekventni naponi poznatih frekvencija i amplituda. — *P.:* Za što se upotrebljava mjerni odašiljač? *O.:* Za ispitivanje i ugađanje radio-prijemnika i njegovih dijelova, a također i za mjerenje na titrajnim krugovima i visokofrekventnim demodulatorima, za baždarenje elektronskih voltmetara itd. — *P.:* Kakvi se zahtjevi stavljaju na dobar mjerni odašiljač? *O.:* Velika konstantnost frekvencije i tačnost očitavanja, mogućnost reguliranja izlaznog napona bez povratnog djelovanja, mogućnost mijenjanja stupnja modulacije i besprijekorna zaštita od električkih i magnetskih polja. — *P.:* Kako je u principu građen mjerni odašiljač? *O.:* On se sastoji od samouzbudnog oscilatora, promjenljivog visokofrekventnog potenciometra i uređaja za moduliranje. — *P.:* Kako se modulira na principu modulacije istosmjernog napona rešetke? *O.:* Uzbudnoj rešetki elektronke u visokofrekventnom pojačalu ne dovode se samo visokofrekventni naponi, nego istodobno i modulacioni izmjenični naponi; na taj način se negativni prednapon mijenja u taktu modulacionih frekvencija, tako da se izmjenična anodna struja elektronke modulira u istom taktu. — *P.:* Kako se mjerni odašiljač baždari? *O.:* Pomoću jednog pomoćnog oscilatora s kvarcom, koji je ugođen na osnovne, odnosno harmoničke titraje kvarcne normale. — *P.:* Koja su još pomoćna sredstva za ovo potrebna? *O.:* Prijemnik, pomoću kojeg se može ustanoviti nestajanje treptajnog tona koji nastaje superpozicijom pomoćnog titraja i titraja mjernog odašiljača.

Pitanja

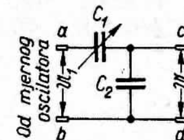
48. Na koja se mjerenja većinom može svesti mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih procesa?

49. Kakve koristi imamo od tonske modulacije mjernog odašiljača?

Zadaci

32. Sl. 127. prikazuje sklop mjernog odašiljača s modulacijom istosmjernog napona rešetke. a) Koji kondenzatori služe za kratko spajanje visokofrekventnih titraja? b) Koliko otpor R_2 sprečava da ne dođe do prejakog rezanja bočnih pojaseva moduliranih visokofrekventnih titraja? c) Kako se potenciometrom R_m može namjestiti visok stupanj modulacije?

130. — Već u odsjecima 127. i 128. upozorili smo na to, da mjerni odašiljač mora imati promjenljivi *visokofrekventni potenciometar*. Budući da mjerni odašiljač često kod ispitivanja i mjerenja mora davati vrlo malene visokofrekventne napone (nekoliko mikrovolta), bili bi za mjerenje ovih napona potrebni vrlo osjetljivi instrumenti. Zbog toga se na ulazne priključnice potenciometra dovodi tako velik napon (na primjer 1 V), da se može lako mjeriti i jednostavnim instrumentom. Potrebno snizavanje napona vrši se pomoću baždarenog v i š e s t e p e n o g d j e l i t e l j a n a p o n a (nazvanog također l a n č a s t i v o d i č). Najjednostavniji je kapacitivni djelitelj visokofrekventnog napona (sl. 128), koji se sastoji od promjenljivog kondenzatora C_1 i njemu u seriju spojenog čvrstog kondenzatora C_2. Ako je U_1 ulazni napon na priključnicama *a*—*b*, a U_2 izlazni napon na priključnicama *c*—*d*, tada po Ohmovom zakonu vrijedi:



Sl. 128.

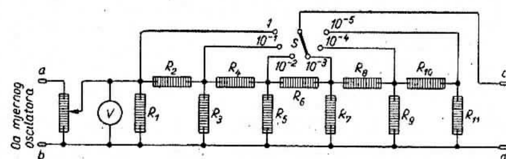
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1/\omega C_2}{1/\omega C_1 + 1/\omega C_2} \quad \text{ili:}$$

$$\boxed{U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot U_1} \qquad (23)$$

Kapacitet C_2 mora biti što veći, da bi impedancija potenciometra bila dovoljno malena prema impedanciji mjerenog uređaja, koji se priključuje na priključnice *c*—*d* (oko 1 : 100); no C_2 ne smije biti ni prevelik, jer bi kod kratkih valova štetno djelovao induktivitet dovoda do kondenzatora C_2. Odaberemo li na primjer C_2 = 2 000 pF, a kapacitet kondenzatora C_1 neka se može mijenjati od 0,002 pF do 20 pF, tada se uz ulazni napon od 1 V dobiva mjerno područje od kojih 0,002/2 000 = 0,000 001 V = 1 μV, pa do nekih 20/2 000 = 0,01 V = 10 mV, to jest ukupni odnos regulacije je 1 : 10 000.

131. — Nadalje na sl. 129. vidimo *omski visokofrekventni potenciometar* sa šest stupnjeva. Visokofrekventni naponi dolaze iz mjernog odašiljača na omski potenciometar *R;* napon na ulazu visokofrekventnog potenciometra mjeri voltmetar *V*. Visokofrekventni potenciometar ima pet omskih djelitelja, naime R_2 — R_3, R_4 — R_5, R_6 — R_7, R_8 — R_9, R_{10} — R_{11}, a svaki od njih dijeli napon u sasvim određenom odnosu, na primjer u odnosu 1 : 10. Izlazni napon na priključnicama *c*—*d* jednak je prema tome naponu očitanom na voltmetru *V* i pomnoženom s namještenim odnosom. Kontakti preklopnika *S* na sl. 129. označeni su odgovarajućim odnosom napona; u nacrtanom položaju preklopnika ima izlazni napon na priključnicama *c* — *d* vrijednost koja je jednaka 10^{-3} = 1/1 000 napona očitanog na voltmetru *V;* u ovom položaju preklopnika dolazi

naime do trostrukog dijeljenja napona u odnosu 1 : 10. U proračunavanje pojedinih otpora R_1 do R_{11} ovdje nažalost ne možemo ulaziti, jer je račun dosta složen. Ovim potenciometrom, koji ima samo jedan preklopnik i jedan kontinuirano promjenljivi potenciometar, moguće je dakle dobiti vrlo velike odnose napona (na sl. 129, odnos je 1 : 100 000). Preporučuje se da omski otpori budu niskoomski, kako bi se kao otpori mogle upotrijebiti kratke ravne otporne žice. Na taj način se otklanjaju smetnje uslijed samoinduktiviteta i skin-efekta (vidi dio I, odsjek 7) kao i šuntiranje paralelnim kapacitetima. Takvi se visokofrekventni potenciometri mogu baždariti također istosmjernim naponima. Osim toga, moraju pojedini otpori između sebe, kao i cijeli potenciometar, biti pomno oklopljeni; inače se zbog indukcionih djelovanja na izlaznim priključnicama *c* — *d* ne dobiju maleni visokofrekventni naponi, koji su nam kod mjerenja potrebni. Oba visokofrekventna potenciometra priključuju se na mjerni odašiljač na sl. 127. na priključnice *H*.



Sl. 129.

Ponavljanje

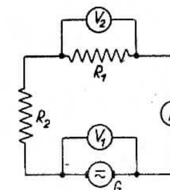
Za smanjivanje visokofrekventnih napona, koje daje mjerni odašiljač, upotrebljavaju se potenciometri (lančasti vodiči). Najjednostavniji su *kapacitivni visokofrekventni potenciometri*, koji se sastoje od jednog promjenljivog kondenzatora i njemu u seriju spojenog čvrstog kondenzatora. *Omski visokofrekventni potenciometri* su lančani vodiči, kod kojih se pojedini članci sastoje od uzdužnih i poprečnih otpora; ovi otpori moraju imati što nižu omsku vrijednost i moraju biti dobro oklopljeni.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Od čega se sastoji najjedostavniji visokofrekventni potenciometar, kojim se napon može regulirati u širokim granicama? *Odgovor:* Od promjenljivog i njemu u seriju spojenog čvrstog kondenzatora. — *P.:* Kakav smo još visokofrekventni potenciometar upoznali? *O.:* Višestepeni omski potenciometar. — *P.:* Od čega se sastoji ovakav potenciometar? *O.:* Od omskih uzdužnih i poprečnih otpora. — *P.:* Na što treba paziti kod gradnje omskih i visokofrekventnih potenciometara? *O.:* Otpori moraju imati što nižu omsku vrijednost; također moraju biti oklopljeni ne samo cijeli potenciometar, nego i pojedini otpori jedan prema drugom.

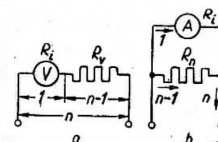
Najvažniji instrumenti za mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih napona i struja

132. — Za mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih napona i struja upotrebljavaju se instrumenti koji pokazuju d i r e k t n o. Prema svojoj vrsti oni pokazuju bilo e f e k t i v n u v r i j e d n o s t, dakle k v a d r a t i č n u s r e d n j u v r i j e d n o s t, ili t j e m e n u v r i j e d n o s t izmjeničnog napona, odnosno struje. Kao što nam je poznato iz opće elektrotehnike, voltmetar se spaja uvijek paralelno onom dijelu strujnog kruga, čiji se pad napona želi mjeriti, dok se ampermetar spaja uvijek u seriju s ostalim dijelovima strujnog kruga (sl. 130). Voltmetar V_1 mjeri napon na priključnicama generatora *G*, voltmetar V_2 pad napona na potrošaču R_1, *a* ampermetar *A* jakost struje koja teče kroz otpore R_1 i R_2.



Sl. 130.

U n u t a r n j i o t p o r v o l t m e t r a mora biti što v e ć i (prema otporu, kojemu je voltmetar spojen paralelno), da što manji dio glavne struje teče kroz voltmetar. U n u t r a š n j i o t p o r a m p e r m e t r a međutim mora biti što m a n j i (prema otporima, kojima je spojen u seriju), da se jakost glavne struje uključivanjem ampermetra što manje oslabi. *Mjerno područje* voltmetra može se proširiti dodavanjem *predotpora* R_v; ako naponsko područje treba da bude *n*-puta veće, tada mora biti:



Sl. 131.

$$R_v = (n-1)\,R_i \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (24)$$

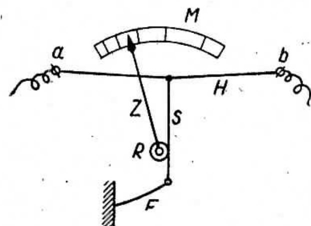
gdje je s R_i označen unutarnji otpor voltmetra (sl. 131*a*). Naponi na R_v i R_i prema Ohmovom zakonu odnose se kao $U_v : U_i = R_v : R_i = (n-1)\,R_i : R_i = (n-1) : 1$. Da se proširi skala ampermetra *n*-puta, potrebno je dodati *nuzotpor* (šunt, sl. 131*b*):

$$R_n = \frac{R_i}{n-1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (25)$$

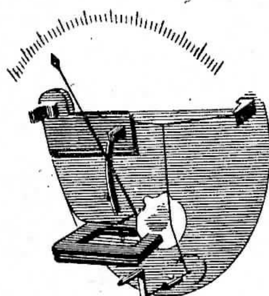
Jakosti struja, koje teku kroz R_n i R_i, odnose se tada kao $I_n : I_i = R_i : R_n = R_i : [R_i/(n-1)] = (n-1) : 1$, to jest $(n-1)$ dijelova glavne struje teče kroz nuzotpor, a samo jedan dio kroz sam ampermetar. Sve ovo vrijedi naravno samo uz upotrebu č i s t i h o m s k i h o t p o r a, to jest predotpora i nuzotpora, koji nemaju induktiviteta ni kapaciteta.

133. — Sada ćemo prijeći na opisivanje najvažnijih instrumenata za mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih napona i struja. Najprije ćemo nešto reći o *termičkom instrumentu* sa sl. 132. Mjerena struja

teče od priključnice a kroz tanku otpornu žicu H na priključnicu b, odnosno obrnuto. Ova žica, koja je obično od platiniridiuma, ugrije se i rastegne. Žicu H prema dolje vuče opruga F, i to preko niti S od svile ili kokona omotane oko valjka R. Produženje žice H, koje nastaje uslijed strujne topline, prenosi se preko niti S na valjak R i na kazaljku Z, pri čemu se kazaljka pomiče na desno. Budući da je strujna toplina razmjerna k v a d r a t u jakosti struje, dobiva se na skali M »kvadratična« podjela; na početku skale podjeljci su stisnuti, te je očitavanje netačno. Ovaj nedostatak može se, međutim, u velikoj mjeri otkloniti. Budući da je kvadrat jakosti struje uvijek p o z i t i v a n, otklon instrumenta n i j e o v i s a n o smjeru struje. Stoga je termički instrument prikladan ne samo za mjerenje istosmjernih struja, nego i za izmjenične struje; kod mjerenja izmjenične struje instrument pokazuje e f e k t i v n u vrijednost. Kod mjerenja visokofrekventnih struja štetno djeluje povećanje otpora žice H uslijed skin efekta; tada instrument pokazuje suviše velike jakosti struje. No ako je grijana žica kratka i vrlo tanka, tada se ovim instrumentom mogu mjeriti i visokofrekventne struje od nekoliko mA kod frekvencije od nekoliko MHz. Nažalost kod termičkih instrumenata je potrošak energije prilično velik (oko 0,5 do 1 W). Termički instrumenti uglavnom se upotrebljavaju za mjerenje tehničkih izmjeničnih struja i za ugađanje titrajnih krugova i emisionih antena (vidi na primjer dio II, sl. 291. i 295). Na sl. 133. vidimo praktičku izvedbu jednog termičkog instrumenta. Na osovini, na koju je pričvršćena kazaljka, nalazi se još i aluminijska ploča, koja se kreće između polova permanentnog magneta. U aluminijskoj ploči se induciraju vrtložne struje, što uzrokuje prigušivanje gibanja kazaljki, te se kazaljka namješta bez titranja.



Sl. 132.


Sl. 133.

Ponavljanje

V o l t m e t r i se spajaju uvijek paralelno mjerenom objektu i oni moraju imati što veći unutarnji otpor. A m p e r m e t r i se uvrštavaju uvijek u seriju, i oni moraju imati što manji unutarnji otpor. M j e r n o p o d r u č j e v o l t m e t r a može se proširiti serijskim dodavanjem p r e d o t p o r a, dok se mjerno područje a m p e r m e t r a proširuje dodavanjem paralelnih n u z o t p o r a. *Termičkim instrumentom* može se mjeriti kako istosmjerna, tako i izmjenična struja, jer se mjerenje osniva na ugrijavanju žice kroz koju teče struja. Ako je grijana žica kratka i vrlo tanka, mogu se termičkim instrumentom mjeriti visokofrekventne struje od nekoliko mA kod frekvencije od nekoliko MHz.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Po kakvom pravilu se spajaju voltmetri i ampermetri? *Odgovor:* Voltmetri se spajaju uvijek mjerenom objektu paralelno, a ampermetri u seriju. — *P.:* Koliki mora biti unutarnji otpor voltmetra, odnosno ampermetra? *O.:* Voltmetar mora imati mnogo veći, a ampermetar mnogo manji unutarnji otpor, nego što je otpor mjerenog objekta. — *P.:* Kako se može proširiti mjerno područje voltmetra, odnosno ampermetra? *O.:* Pomoću predotpora, odnosno nuzotpora. — *P.:* O čemu ovisi veličina predotpora, odnosno nuzotpora? *O.:* O unutarnjem otporu instrumenta i o potrebnom proširenju područja. — *P.:* Koja se pojava iskorištava kod termičkog instrumenta? *O.:* Produženje otporne žice koje nastaje uslijed proticanja struje. — *P.:* Zašto se termičkim instrumentom mogu mjeriti i izmjenične struje? *O.:* Zato što je strujna toplina uvijek ovisna o pozitivnom kvadratu jakosti struje. — *P.:* Kakve nedostatke imaju termički instrumenti? *O.:* Nejednoličnu podjelu skale i velik vlastiti potrošak. — *P.:* Za što se uglavnom upotrebljavaju termički instrumenti? *O.:* Za mjerenje tehničkih izmjeničnih struja i kod ugađanja titrajnih krugova i emisionih antena.

Pitanja

50. Koje se vrste visokofrekventnih potenciometara najviše upotrebljavaju u mjernoj radiotehnici?

51. Pokazuje li termički instrument efektivne ili tjemene vrijednosti izmjenične struje?

Zadaci

33. Na kapacitivnom visokofrekventnom potenciometru prema sl. 128. nalazi se ulazni napon od 10 V; čvrsti kondenzator ima kapacitet od 1 000 pF. a) Koji najmanji, odnosno najveći kapacitet mora imati promjenljivi kondenzator, ako se visokofrekventni napon mora dati regulirati od 10 V do 0,2 μV? b) Koliki je ukupni odnos napona?

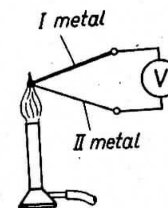
34. Omski visokofrekventni potenciometar sa sl. 129. priključen je na napon od 100 mV. a) Koliki je izlazni napon, ako se potenciometrom R uzima polovica ulaznog napona, a preklopnik S stoji na kontaktu označenom sa 10^{-4}? b) Kako se mora namjestiti R i S, pa da izlazni napon bude jednak ulaznom naponu?

35. Voltmetar s unutarnjim otporom od 500 Ω/V i mjernim područjem do 5 V mora se upotrijebiti za mjerenje napona do 500 V. Koliki mora biti predotpor?

36. Neki miliampermetar ima mjerno područje od 0 do 10 mA i unutarnji otpor od 100 oma. Mjerno područje treba proširiti na 500 mA; Koliki treba da bude nuzotpor?

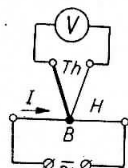
37. Voltmetrom, koji ima unutarnji otpor od 1 000 Ω/V i mjerno područje do 500 V, izmjeren je na otporu od 100 kΩ pad napona od 200 V. Koliki je stvarni pad napona na otporu?

134. — Mnogo osjetljiviji od termičkih instrumenata jesu *instrumenti s termopretvaračem.* I ovdje se za mjerenje visokofrekventnih i niskofrekventnih napona i struja iskorištava s t r u j n a t o p l i n a. Ako se naime mjesto doticanja (zavareno ili zalemljeno) dvi-



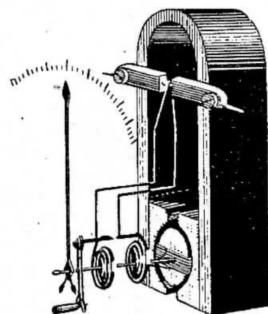
Sl. 134.

ju žica od različitih metala (na primjer od platine i bizmuta) ugrije, tada na slobodnim krajevima žica nastaje termoelektrički napon (*»termoefekt«*), koji se osjetljivim voltmetrom može direktno mjeriti (sl. 134). Termoelektrički napon takvog *termoelementa* raste s ugrijavanjem i, na primjer, kod termoelementa od platine i bizmuta iznosi oko 13 mV kod povišenja temperature za 200° C. Termoelement pretvara, dakle, direktno toplinsku energiju u električku energiju. Kod termoelementa se mjerena struja upotrebljava za ugrijavanje mjesta doticanja. Ugrijavanje je kao i kod termičkog instrumenta ovisno o kvadratu jakosti struje; kako s druge strane termoelektrički napon raste približno linearno s ugrijavanjem, to je pokazani termonapon također ovisan o kvadratu jakosti struje. Iz toga slijedi da je podjela skale kod instrumenta s termopretvaračem, kao i kod termičkog instrumenta, kvadratična. Očitane vrijednosti su dakle efektivne vrijednosti.



Sl. 135.

135. — Ugrijavanje mjesta doticanja *B* termoelementa *Th* (sl. 135), u praksi se vrši pomoću žice *H*, kroz koju teče struja *I*. Žica *H* je u čvrstoj vezi s mjestom doticanja *B*. Ako između žice *H* i termoelementa *Th* ne smije postojati električka veza, tada se mjesto doticanja *B* smjesti u staklenu kuglicu, kroz koju prolazi žica *H*. Termoelektrički napon, koji nastaje ugrijavanjem mjesta doticanja *B*, mjeri se osjetljivim voltmetrom za istosmjerni napon *V*. Na sl. 136. vidimo praktičku izvedbu instrumenta s termopretvaračem. Na krakovima magneta osjetljivog instrumenta s pokretnom zavojnicom (milivoltmetar)[13]) pričvršćeni su termoelement, kazaljka i skala. Termoelement daje istosmjernu struju; no ugrijavanje termoelementa vrši se kod mjerenja izmjenične struje pomoću izmjenične struje. Zato se takvi termoelementi nazivaju također *termopretvarači*. Grijana žica odaje termoelementu samo jedan dio svoje toplinske energije; budući da se gubici topline kod jakosti struja manjih od kojih 150 mA svode uglavnom na odvođenje topline zrakom, to se termopretvarači za struje ispod 150 mA smještaju

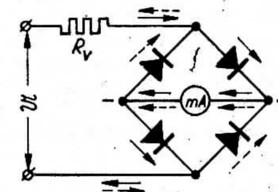

Sl. 136.

[13]) Instrument s pokretnom zavojnicom sastoji se, kao što je poznato, od pravokutne zavojnice koja se može okretati oko željeznog cilindra među polovima permanentnog magneta (vidi sl. 136). Na krajeve zavojnice prilemljene su dvije protusmjerno motane spiralne opruge, koje ujedno služe za dovod struje i za vraćanje zavojnice u nulti položaj. Ako kroz zavojnicu teče struja, tada se ona dotle okreće, dok ne dođe do ravnoteže s mehaničkom silom opruga. Otklon je razmjeran jakosti struje tako da se dobiva jednolična podjela skale.

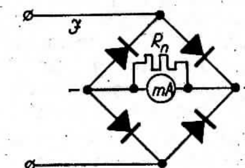
u evakuirani stakleni balon. Ovim se dobiva znatno povišenje termoelektričkog napona uz istu zagrijevnu snagu.

136. — Pomoću instrumenta s termopretvaračem mogu se mjeriti visokofrekventne izmjenične struje do frekvencije 10^8 Hz = 100 MHz, a u najpovoljnijem slučaju i jakosti struje čak do 2 A! Termoelektrički napon iznosi pri tome 10 do 12 mV kod povišenja temperature za 200° C i potrošak energije na primjer oko 4 mW kod 10 mA, odnosno oko 1 W kod 2 A. Kod mjerenja napona kapacitivni i induktivni utjecaji djeluju s povišenjem frekvencije sve štetnije. Zato se za mjerenje napona mogu instrumenti s termopretvaračem upotrebiti samo do frekvencija od kojih 10^6 Hz = 1 MHz. Iz ovoga vidimo, da se ovim instrumentima mogu izvesti skoro sva visokofrekventna mjerenja, a naročito tonfrekventna mjerenja svih vrsta. Razumljivo je, da se pomoću instrumenata s termopretvaračem mogu mjeriti također istosmjerne struje.

137. — Za mjerenje niskofrekventnih napona i struja mogu se upotrijebiti i instrumenti sa *suhim ispravljačima*. Suhi ispravljači imaju ovdje zadatak da pretvaraju izmjeničnu struju u istosmjernu. U praksi se najviše upotrebljavaju *selenski ispravljači* i *ispravljači s bakrenim oksidulom*. O suhim ispravljačima opširno smo govorili u dijelu II, odsjecima 22 do 25. Odanle znamo, da se ovakvi ispravljači sastoje od metala i polumetala, naime od bakra i bakarnog oksidula, odnosno od željeza i selena, i da propuštaju struju samo u smjeru od oksidula k metalu, odnosno od željeza k selenu (vidi dio II, sl. 16 i 17). Najčešći spoj mjernog ispravljača je poznati *Graetzov spoj* (vidi dio II, odsjek 24 i sl. 18). Na sl. 137. prikazan je spoj voltmetra sa suhim ispravljačem. Ispravljačko djelovanje Graetzovog spoja jasno se vidi iz zvučenih i crtkanih strelica. Predotpor R_v mora biti što veći prema propusnom otporu suhog ispravljača, kako bi ovisnost propusnog otpora o temperaturi i frekvenciji bila od što manjeg utjecaja. Na taj način se dobivaju sasvim slabe struje koje teku kroz ispravljač; no one se mogu još lako mjeriti osjetljivim niskoomskim instrumentima s pokretnom zavojnicom (0,2 do 1 mA punog otklona). Za mjerenje struje upotrebljava se spoj prikazan na sl. 138; budući da se nuzotpor R_n ovdje nalazi u krugu istosmjerne struje, to promjena propusnog otpora jedva da utječe na tačnost mjerenja.



Sl. 137.



Sl. 138.

138. — Instrumenti sa suhim ispravljačima mogu se upotrijebiti do frekvencija od kojih 10 kHz. Kod otklona koji nisu premaleni podjela skale je prilično jednolična. Ovi instrumenti mogu se upotrijebiti za mjerenje

tonfrekventnih napona i struja; također ovdje se mjere efektivne vrijednosti.[14]) Kod frekvencija viših od 10 kHz uzrokuje vlastiti kapacitet ispravljača suviše velike pogreške. Iznimku čini suhi ispravljač nazvan *sirutor*. Ovaj ispravljač se sastoji od nekoliko u seriju spojenih bakarno-oksidulnih ispravljača, koji imaju promjer samo 5 mm. Zbog serijskog spoja i malenih dimenzija dobiva se naročito malen vlastiti kapacitet, tako da se mogu ispravljati i visokofrekventne struje. Opteretna struja ovog ispravljača smije iznositi najviše 0,25 mA. Još ćemo spomenuti, da se frekventno područje može kod instrumenata sa suhim ispravljačem znatno povisiti posebnim spojevima za frekventnu korekciju. Na ovaj način može se pogreška mjerenja i kod vrlo visokih frekvencija smanjiti na nekih 10%.

Ponavljanje

Instrumenti s termopretvaračem imaju termoelement (termopretvarač), kod kojeg se mjesto doticanja ugrijava strujom koja teče kroz grijanu žicu; tako nastaje termoelektrički napon, koji se mjeri osjetljivim voltmetrom za istosmjerni napon. Instrumenti s termopretvaračima prikladni su za skoro sva visokofrekventna mjerenja, a naročito za tonfrekventna mjerenja. Kod *instrumenata sa suhim ispravljačima* služi za ispravljanje izmjenične struje ispravljač s bakarnim oksidulom ili selenski ispravljač (najčešće u Graetzovom spoju). Kao pokazni instrument upotrebljava se osjetljivi instrument s pokretnom zavojnicom. Instrumenti sa suhim ispravljačima mogu se upotrijebiti za sva tonfrekventna mjerenja.

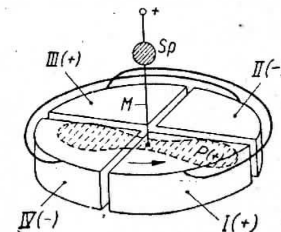
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako djeluje mjerena izmjenična struja u instrumentu s termopretvaračem? *Odgovor:* Ona ugrijava žicu, koja opet ugrijava mjesto doticanja termoelementa. — *P.:* Što time nastaje? *O.:* Termoelektrički napon. — *P.:* Čime se ovaj napon mjeri? *O.:* Osjetljivim instrumentom s pokretnom zavojnicom. — *P.:* Kakva je podjela skale kod instrumenta s termopretvaračem? *O.:* Podjela je kvadratična i u efektivnim vrijednostima. — *P.:* Do kojih se frekvencija može upotrijebiti instrument s termopretvaračem? *O.:* Kao ampermetar do frekvencija od kojih 10^8 Hz, a kao voltmetar do kojih 10^6 Hz. — *P.:* Kako rade instrumenti sa suhim ispravljačima? *O.:* Kod njih se mjerena izmjenična struja pomoću bakarno-oksidulnih ili selenskih ispravljača (većinom u Graetzovom spoju) pretvara u istosmjernu struju, koja se tada mjeri pomoću osjetljivih instrumenata s pokretnom zavojnicom. — *P.:* Do kojih se frekvencija mogu upotrijebiti obični instrumenti sa suhim ispravljačima? *O.:* Do kojih 10 kHz. — *P.:* Kakva je podjela skale kod instrumenta sa suhim ispravljačem? *O.:* Podjela je kod otklona koji nisu premaleni prilično jednolična i daje efektivne vrijednosti.

139. — *Elektrostatski voltmetri (kondenzatorski instrumenti)* osnivaju se na međusobnom djelovanju između dva električki nabijena tijela. Prvotni oblik takvog instrumenta je *kvadratni elektrometar*. On se sastoji od niske cilindrične metalne kutije, koja je razdijeljena na četiri

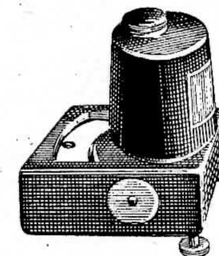
[14]) Ovdje se pretpostavlja, da suhi ispravljač u mjernom području ima kvadratičnu karakteristiku (vidi odsjek 141).

komore (kvadranta) *I, II, III, IV* (sl. 139). U sredini ove kutije ovješena je na tankoj metalnoj žici *M* lagana osmičasta aluminijska ploča *P* (»igla«), koja se može okretati. Komore *I* i *III*, odnosno *II* i *IV*, međusobno su spojene žicama. Ako se aluminijska ploča *P* preko ovjesne žice *M* spoji, na primjer, s pozitivnim polom izvora napora, a parovi komora se priključe na mjereni napon, tada jedan par komora dobije pozitivni, a drugi negativni naboj. Ploču *P* prema tome jedan par komora privlači, a drugi je odbija; zbog toga se ploča *P* zakrene, i to dotle, dok između torzione sile žice *M* i električkih sila ne dođe do ravnoteže. Kut zakreta ploče *P* pokazuje kazaljka ili zraka svjetla, koja se odrazuje od laganog zrcala *Sp* pričvršćenog na žicu *M*.



Sl. 139.

Elektrostatskim instrumentom mogu se, naravno, mjeriti samo naponi, jer kod mjerenja istosmjernog napona ne teče kroz instrument nikakva struja, a kod mjerenja izmjeničnih napona ova struja je vrlo malena. Kod mjerenja izmjeničnih napona mjere se opet efektivne vrijednosti. Posebnim oblikom komora i pokretne aluminijske ploče može se dobiti dosta jednolična podjela na skali. Elektrostatski voltmetri naročito su prikladni za mjerenje na visokoomskim krugovima, na primjer za mjerenje istosmjernog anodnog napona kod otpornih pojačala, za mjerenje uzbudnog napona na rešetki elektronke itd., i to zato što elektrostatski voltmetar mjereni objekt praktički uopće ne opterećuje. Kod *multicelularnog voltmetra,* kojim se mogu mjeriti i visoki naponi, poredano je više komora u obliku ćelija jedna iznad druge, a u njima lebdi po jedna lagana metalna igla (ukupno do 20); mjereni napon se priključuje s jedne strane na metalne komore, a s druge strane preko ovjesne žice na igle.

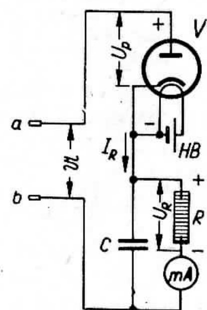


Sl. 140.

140. — Kod mjerenja istosmjernih napona otpor elektrostatskog voltmetra teoretski je neizmjerno velik (kondenzator!) i praktički jednak visokom izolacionom otporu instrumenta. Međutim kod mjerenja izmjeničnih napona, kapacitivni otpor opada s porastom frekvencije. Tako na primjer uz kapacitet instrumenta od 10 pF kod frekvencije od 1 kHz otpor iznosi ≈ 16 MΩ, kod 100 kHz ≈ 160 kΩ, a kod 1 MHz ≈ 16 kΩ. Iz ovoga slijedi, da se elektrostatski instrumenti mogu dobro upotrijebiti i kod visokih frekvencija. Elektrostatski voltmetar prikazan na sl. 140. ima vlastiti kapacitet oko 11 pF i mjerno područje od 0 do 150 V, a može se upotrijebiti za frekvencije do kojih 10 MHz. Mjereni istosmjerni ili izmjenični napon priključuje se na metalno kućište i

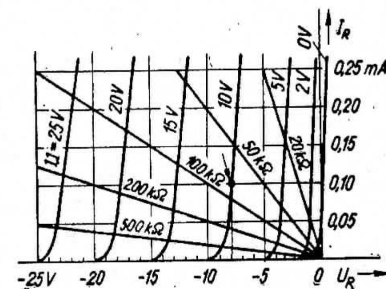
na izoliranu priključnicu, koja se vidi sprijeda. Pomoću vijka i libele postavlja se instrument u ispravan položaj. Ako se ugradi kazaljka sa svjetlom, mogu elektrostatski instrumenti imati mjerno područje od 0 do 20 V, pri čemu kod frekvencije od 1 MHz i uz napon od 20 V troše samo 2 mA; ovakvim instrumentom mogu se tačno mjeriti naponi već od 1 V.

141. — Za gradnju vrlo osjetljivih instrumenata mogu se upotrijebiti i e l e k t r o n k e; tada dobivamo takozvane *elektronske voltmetre.* Elektronskim voltmetrom mogu se uz jednostavno rukovanje mjeriti izmjenični naponi s k o r o s v i h f r e k v e n c i j a. Zato je elektronski voltmetar u modernoj mjernoj radio-tehnici, a naročito za mjerenje visokih frekvencija, od velike važnosti. Tako se na primjer elektronskim voltmetrom mjere visokofrekventni i niskofrekventni naponi u prijemnicima, pojačalima i odašiljačima, zatim se mjere jakosti primanih polja, snimaju se rezonantne krivulje titrajnih krugova, pojasnih filtara itd. Mjerenje napona pomoću elektronskog voltmetra vrši se praktički *skoro bez potroška snage;* stoga elektronski voltmetri u ovom pogledu ne zaostaju za elektrostatskim voltmetrima. Jednostavnim elektronskim voltmetrima mogu se tačno mjeriti istosmjerni i izmjenični naponi od kojih 0,1 V, pa preko 100 V, a uz upotrebu jednostepenog ili dvostepenog pojačala čak i naponi od kojih 1 do 10 mV. Kod elektronskih voltmetara se za mjerenje napona iskorištava zakrivljenost karakteristike anodne struje ili rešetkine struje elektronke; elektronski voltmetar je, dakle, zapravo ispravljač. Ako je karakteristika elektronke p o s v e k v a d r a t i č n a (parabolična), tada elektronski voltmetar pokazuje e f e k t i v n e v r i j e d n o s t i mjerenog izmjeničnog napona *neovisno o obliku izmjeničnog napona,* dakle i kod nesinusoidnog napona (vidi odsjek 144). Prema matematskom izvodu, koji ćemo ovdje mimoići, ovo vrijedi samo za malene izmjenične napone, jer je karakteristika obične elektronke samo u početku približno kvadratična. Kod mjerenja sinusoidnih izmjeničnih napona oblik karakteristike nije važan.



Sl. 141.

142. — Najjednostavniji elektronski voltmetar je *diodni voltmetar.* Ovdje se radi o j e d n o t a k t n o m i s p r a v l j a č u s diodom V (sl. 141). Mjereni napon se priključuje na priključnice a—b, dakle između anode i katode diode (preko kondenzatora C). Da instrument ne bi ovisio o nekom drugom izvoru napona, dioda se žari malenom baterijom za džepnu svjetiljku HB. Uz posve sinusoidni izmjenični napon U uzrokuju samo pozitivni poluvalovi p u l z i r a j u ć u s t r u j u I_R s tjemenom vrijednošću I_m; na katodnom otporu R nastaje napon U_R, koji je ovisan o veličini izmjeničnog napona U, i koji u praznom hodu, to jest uz $R = \infty$, ima vrijednost, koja je jednaka tjemenoj vrijednosti priključenog izmjeničnog napona, dakle $U_R = U$. Uz konačnu vrijednost otpora R napon U_R je manji od U. Za diodu je naime potreban stanoviti p r e o s t a l i n a p o n $U_r = U - U_R$, koji će tjerati kratkotrajne strujne impulse pulzirajuće struje I_R. Napon U_R djeluje pri tome kao negativni prednapon anode prema katodi. Ako je potrebno da napon U_R ima vrijednost, što bližu tjemenoj vrijednosti U priključenog napona, tada otpor R mora biti što veći. Vrijednost otpora R općenito je između 0,1 MΩ i nekoliko MΩ. Za mjerenje struje I_R može poslužiti miliampermetar mA s otklonom do 0,1 mA. Zbog postojanja preostalog napona U_r ne može se za neko mjerno područje potrebni otpor izračunati po Ohmovom zakonu. Zato je potrebno da se uz različite izmjenične napone snime k a r a k t e r i s t i k e diode (sl. 142; vidi također dio II sl. 130. i odsjek 168). Ako, na primjer, uz jakost struje I_R = 0,1 mA tjemena vrijednost mjerenog izmjeničnog napona treba da iznosi U = 10 V, tada se iz sl. 142. dobiva da je $U_R \approx 8$ V; prema tome traženi otpor ima vrijednost $R = U_R/I_R \approx 8/0{,}0001 =$ $= 80\,000\ \Omega = 80$ kΩ. Pomoću preklopnika mogu se ukopčati različiti otpori R i tako dobiti mjerna područja na primjer od 10 V, 50 V, 100 V itd.



Sl. 142.

143. — Opisani diodni voltmetar mjeri t j e m e n e vrijednosti izmjeničnog napona. No u praksi je često ugodnije da se dobiju e f e k t i v n e vrijednosti; to se postiže tako, da se otpor dobiven iz karakteristika diode uzme 1,41 puta veći. Napominjemo još jednom, da se efektivne vrijednosti dobivaju samo onda, ako je izmjenični napon posve sinusoidan. Samo uz p o s v e k v a d r a t i č n u karakteristiku elektronke, dakle uz sasvim malene jakosti struje (do kojih 0,01 mA) dobivaju se efektivne vrijednosti i onda, ako izmjenični napon ima mnogo harmoničkih (vidi odsjek 141). Kondenzator C (na sl. 141), koji propušta izmjenični dio ispravljene struje, mora biti tako velik, da je vremenska konstanta $T = R \cdot C$ velika prema trajanju titraja mjerenog izmjeničnog napona. Budući da se za R upotrebljavaju dosta veliki otpori, kapacitet C = 2 μF dovoljan je i za najniže frekvencije. Kod praktičke izvedbe diodnog voltmetra potrebno je paziti na to, da vod koji spaja anodu s priključnicom a bude što kraći, kako bi ulazni kapacitet, koji se sastoji od kapaciteta anodnog voda i kapaciteta anoda-katoda, bio što manji. S diodnim voltmetrom mogu se tada mjeriti naponi s frekvencijama i do 60 MHz.

Ponavljanje

Kod *elektrostatskih voltmetara,* kojima je praoblik kvadratni elektrometar, za mjerenje istosmjernih i izmjeničnih napona iskorištava se međusobno djelovanje između električki nabijenih tijela. Elektrostatski voltmetri rade praktički bez potroška snage i prema tome opterećuju mjereni objekt tek neznatno. S multicelularnim voltmetrom mogu se elektrostatski mjeriti također i visoki naponi. *Elektronskim voltmetrom* mogu se praktički skoro bez potroška snage mjeriti izmjenični naponi gotovo svih frekvencija; ovdje se iskorištava zakrivljenost strujne karakteristike anodne, odnosno rešetkine struje elektronke (efekt ispravljanja). Uz posve kvadratičnu karakteristiku dobivaju se efektivne vrijednosti mjerenog izmjeničnog napona bez obzira na oblik krivulje; kod mjerenja sinusoidnih izmjeničnih napona oblik karakteristike nije važan. Najjednostavniji elektronski voltmetar je *diodni voltmetar,* u kojemu dioda radi kao jednotaktni ispravljač. Vrijednost katodnog otpora, koji određuje mjerno područje dobiva se iz karakteristika diode. Ako je katodni otpor dovoljno velik, pokazuje diodni voltmetar tjemene vrijednosti izmjeničnog napona.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Na čemu se osniva djelovanje elektrostatskog voltmetra? *Odgovor:* Na privlačnom, odnosno odbojnom djelovanju električki nabijenih tijela, koja su međusobno izolirana. — *P.:* Kakvu naročitu prednost ima elektrostatski voltmetar? *O.:* On radi praktički bez potroška snage i prema tome jedva da opterećuje mjereni objket. — *P.:* U čemu je naročita prednost elektronskih voltmetara kod mjerenja izmjeničnih napona? *O.:* U tome, što elektronski voltmetri mogu praktički gotovo bez potroška snage mjeriti izmjenične napone i do najviših frekvencija. — *P.:* Kako u principu radi elektronski voltmetar? — *O.:* Kao ispravljač, pri čemu se iskorištava zakrivljenost karakteristike anodne, odnosno rešetkine struje neke elektronke. — *P.:* Uz kakve uvjete nije efektivna vrijednost mjerenog izmjeničnog napona ovisna o obliku krivulje izmjeničnog napona? *O.:* Karakteristika elektronke mora biti posve kvadratična. — *P.:* Koji je od elektronskih voltmetara najjednostavniji? *O.:* Diodni voltmetar. — *P.:* Kako se kod elektronskog voltmetra dobije vrijednost katodnog otpora za neko mjerno područje? *O.:* Iz karakteristika diode. — *P.:* Uz ovako dobiveni katodni otpor pokazuje li diodni voltmetar tjemene ili efektivne vrijednosti mjerenog napona? *O.:* Ako je katodni otpor dovoljno velik, instrument pokazuje tjemene vrijednosti.

Pitanja

52. Što je termoelement?

53. Kako se vrši očitavanje kod naročito osjetljivog elektrostatskog voltmetra?

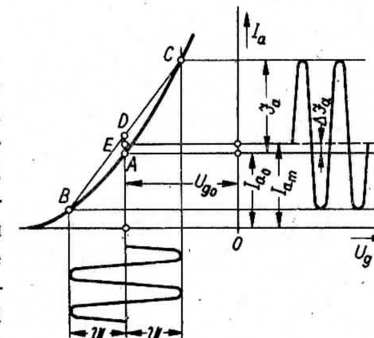
54. Kakvim se instrumentima mjere visokofrekventni i niskofrekventni izmjenični naponi?

Zadaci

38. Suhi ispravljač u Graetzovom spoju, koji je prikazan na sl. 137, treba tako nacrtati da ćelije ispravljača budu poredane u pravcu jedna iza druge. Kako izgleda takva shema?

39. Koliki je vlastiti potrošak struje elektrostatskog voltmetra koji ima vlastiti kapacitet od 11 pF, dok izmjenični napon iznosi 30 V_{ef}, a frekvencija mu je 500 kHz?

144. — Napon se diodnim voltmetrom ipak ne mjeri sasvim bez utroška snage, jer je mjereni objekt donekle opterećen anodnom strujom diode. Zbog ovoga se mogu, naročito kod mjerenja na titrajnim krugovima, uslijed paralelnog prigušenja dobiti pogrešni rezultati. Ovaj se nedostatak može izbjeći upotrebom *voltmetra s anodnim ispravljanjem.* Ovakav voltmetar radi naime s triodom, koja ima tako velik negativni prednapon, da rešetkina struja uopće ne može teći. Mjereni objekt je dakle opterećen samo vrlo visokim izolacionim otporom triode. Kao što već znamo iz dijela II, odsjek 156, radna tačka A nalazi se kod anodnog ispravljača na donjem koljenu U_g—I_a-karakteristike. Ovo se postiže dovoljno velikim negativnim prednaponom U_{g0} (sl. 143). Ako izmjenični napon nije prevelik, radi trioda u području, u kojem je karakteristika

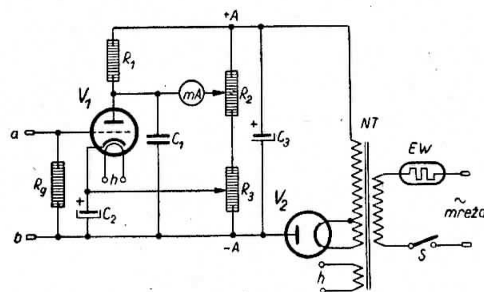


Sl. 143.

približno kvadratična (parabolična), to jest anodna struja se mijenja s kvadratom napona rešetke. Djelovanjem izmjeničnog napona 11 na rešetki superponira se anodnoj struji mirovanja I_{a0} izmjenična anodna struja $\mathfrak{I}_a$, kod koje su uslijed zakrivljenosti U_g—I_a-karakteristike pozitivni poluvalovi veći nego negativni. Zato ampermetar, koji se nalazi u anodnom krugu, pokazuje srednju vrijednost (istosmjerni dio) I_{am} promenljive anodne struje, koja je veća od anodne struje mirovanja I_{a0}. Prirast istosmjerne anodne struje iznosi $\Delta I_a = I_{am} - I_{a0}$. Ovaj prirast nije ovisan o frekvenciji i on je mjera za veličinu izmjeničnog napona na rešetki. Ako je radna U_g—I_a-karakteristika kvadratična, tada je anodna struja razmjerna kvadratu efektivne vrijednosti mjerenog izmjeničnog napona na rešetki, i to neovisno o obliku krivulje napona (vidi odsjek 141). Kod većih izmjeničnih napona, to jest kad se izađe iz kvadratičnog područja karakteristike, ne postoji više linearan odnos između anodne struje i efektivne vrijednosti izmjeničnog napona na rešetki (usporedi dio II, sl. 119. i 10). Prirast anodne struje ΔI_a može se vrlo jednostavno dobiti tako, da se spoje tačke B i C i prepolovi dužina AD; tada je $AE = ED = \Delta I_a$.

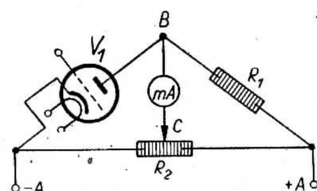
145. — Na sl. 144. vidimo shemu jednog voltmetra s anodnim ispravljanjem. Mjereni izmjenični napon se preko ulaznih priključnica a—b dovodi uzbudnoj rešetki triode V_1 (na primjer AC 2). Odvodni otpor R_g sprečava da kod otvorenog kruga uzbudne rešetke ne dođe do prevelike anodne struje; R_g mora imati visoku otpornu vrijednost (oko 10 MΩ), da kod mjerenja titrajnih krugova ne bi došlo do znatnijeg paralelnog prigušenja. Potenciometrom R_3 (oko 600 Ω) namješta se ispravni negativni prednapon rešetke U_{g0}. Prirast anodne struje kod mjerenja iz-

mjeničnog napona ne mjeri se ampermetrom, koji bi bio spojen direktno u anodni krug elektronke V_1. Ovdje se ampermetar nalazi u mostu, da se poveća osjetljivost mjerenja (vidi odsjek 153). Unutarnji otpor elektronke V_1 čini jednu granu mosta, a ostale tri grane čini omski otpor R_1 i dijelovi omskog potenciometra R_2. Spoj mosta (ne uzevši u obzir potenciometar R_3) još se jasnije vidi iz sheme na sl. 145. Most se najprije potenciometrom R_2 ugodi tako, da kroz miliampermetar mA ne teče anodna struja, to jest između tačaka B i C nema napona. Dođe li na uzbudnu rešetku izmjenični napon, postaje anodna struja veća, dakle unutarnji otpor elektronke manji; time se poremeti ravnoteža mosta, te kroz miliampermetar mA poteče struja. Miliampermetar mA služi ovdje kao voltmetar. On se baždari (efektivne vrijednosti!) tako, da se elektronki V_1 privedu poznati izmjenični naponi.



Sl. 144.

146. — Otpor R_1 treba da bude otprilike jednak unutarnjem otporu elektronke (u stanju mirovanja!). Otpori imaju vrijednosti: $R_1 = 200$ kΩ i $R_2 = 10$ kΩ. Kondenzator $C_1 \approx 0{,}5$ μF odvodi izmjenični dio anodne struje prema minus-vodu i istodobno sprečava da ne dođe do povratnog djelovanja anode na krug rešetke; kondenzator $C_2 \approx 25$ μF kratko spaja visokofrekventne i niskofrekventne struje prema minus-vodu. Kondenzator $C_3 \approx 8$ μF djeluje na poznati način kao ulazni kondenzator jednotaktnog ispravljača, koji ima jednotaktnu ispravljačicu V_2 i mrežni transformator NT. Napon za žarenje elektronke V_1 uzima se s priključnica h mrežnog transformatora. U ulaznom krugu mrežnog transformatora nalazi se sklopka S i otporna cijev sa željezom u vodiku EW. Otporna cijev ima zadatak da pogonski napon drži na istoj visini, to jest da spriječi utjecaj promjena napona mreže na pokazivanje miliampermetra mA (usporedi dio II, odsjek 34). Pomoću opisanog elektronskog voltmetra mogu se, uz upotrebu miliampermetra s najvećim otklonom od 0,3 mA, besprijekorno mjeriti efektivni izmjenični naponi od kojih 20 mV pa do 200 mV. Ako je potrebno mjeriti više napone, tada se pred ulazne priključnice a—b mora spojiti odgovarajući potenciometar. Ovakav instrument omogućuje



Sl. 145.

mjerenje bez znatnih pogrešaka do frekvencija od kojih 10 MHz, a ako se upotrijebi specijalna trioda s malenim kapacitetima (na primjer SD 1 A; vidi dio II, odsjek 348), mjerenje se proširuje i na frekvencije do kojih 30 MHz. Baždarna krivulja voltmetra s anodnim ispravljanjem kod malenih izmjeničnih napona je kvadratična, a kod većih napona je linearna (vidi odsjek 144).

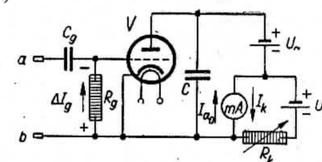
Ponavljanje

Pomoću *voltmetra s anodnim ispravljanjem* napon se može mjeriti bez potroška snage. Radna tačka ovog voltmetra nalazi se na donjem koljenu radne U_g—I_a-karakteristike. Prirast struje kod malenih izmjeničnih napona na rešetki razmjeran je k v a d r a t u efektivne vrijednosti izmjeničnog napona, dok kod velikih izmjeničnih napona postoji l i n e a r a n odnos između prirasta anodne struje i efektivnog izmjeničnog napona na rešetki. Osjetljivost voltmetra s anodnim ispravljanjem može se povećati mostom u anodnom krugu; grane mosta čine unutarnji otpor elektronke i tri omska otpora.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čime se odlikuje voltmetar s anodnim ispravljanjem? *Odgovor:* Njime se može mjeriti napon bez potroška snage. — *P.:* Kako u principu radi voltmetar s anodnim ispravljenjem? *O.:* Kao anodni ispravljač, kod kojeg radna tačka triode leži na donjem koljenu radne U_g—I_a-karakteristike; ako se rešetki privede izmjenični napon, dolazi do prirasta anodne struje, koji se mjeri osjetljivim miliampermetrom. — *P.:* Kako prirast anodne struje ovisi o izmjeničnom naponu na rešetki? *O.:* Kod rada u kvadratičnom području karakteristike prirast struje razmjeran je kvadratu efektivnog izmjeničnog napona na rešetki; kod velikih izmjeničnih napona prelazi se izvan kvadratičnog dijela karakteristike, te je prirast struje linearno ovisan o efektivnom izmjeničnom naponu na rešetki. — *P.:* Kako se kod triode ovog voltmetra ispravno postavlja radna tačka? *O.:* Tako, da se rešetki dovede dovoljno velik negativni prednapon. — *P.:* Kako se može povećati osjetljivost voltmetra s anodnim ispravljanjem? *O.:* Tako, da se mjerenje prirasta anodne struje ne vrši direktno, nego pomoću mosta u anodnom krugu.

147. — Nešto veću osjetljivost nego voltmetar s anodnim ispravljanjem ima *audionski voltmetar* (sl. 146). Kao što znamo iz dijela II, odsjeka 159. i 160. kod audiona se za ispravljanje iskorištava zakrivljenost radne U_g—I_g-karakteristike. Ako uzbudna rešetka triode V ne dobiva izmjenični napon, tada uslijed rešetkine struje mirovanja nastaje na odvodnom otporu $R_g = 3$ do 5 MΩ pad napona, te uzbudna rešetka dobiva malen negativni prednapon. Dođe li sada preko ulaznih priključnica a — b i preko kondenzatora C_g (za visoku frekvenciju 100 do 300 pF, a za nisku barem 10 000 pF) i odvodnog otpora R_g na uzbudnu rešetku triode izmjenični napon, tada se struja rešetke poveća za iznos ΔI_g, uslijed čega se napon na odvodnom otporu poveća za $\Delta U_g = \Delta I_g \cdot R_g$. Zbog povećanja prednapona

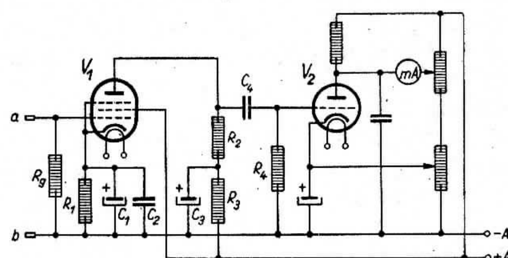


Sl. 146.

anodna struja se s m a n j i. Dolazi, dakle, do promjena anodne struje uslijed promjena prednapona rešetke. Izmjenični dio anodne struje odvodi se preko kondenzatora $C \approx 0{,}5\ \mu F$ na katodu. Opadanje anodne struje mjeri se pomoću miliampermetra, koji je ukopčan direktno u anodni krug. Osjetljivost je međutim veća, ako se štetna i razmjerno velika anodna struja mirovanja I_{a0} kompenzira isto tako velikom istosmjernom strujom I_k, koja ima protivan smjer. To se može izvesti pomoću baterije s naponom U_k i reostatom R_k (vidi sl. 146). Reostat R_k mora se namjestiti tako, da u slučaju, kad na ulaznim priključnicama a—b nema izmjeničnog napona, bude $I_k = - I_{a0}$. U stanju mirovanja dakle kroz miliampermetar mA ne teče nikakva struja. Za ugađanje anodne struje mirovanja može se upotrijebiti također spoj s mostom sa sl. 144.

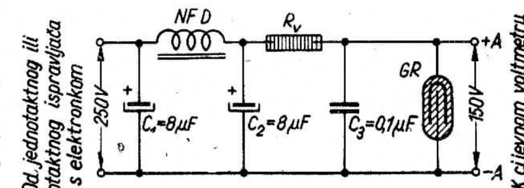
148. — Budući da kod ispravljanja rešetkom teče prema rešetki stanovita struja, kod audionskog elektronskog voltmetra mjerenje napona ne vrši se posve bez utroška snage, kao što je to slučaj kod elektronskog voltmetra s anodnim ispravljanjem. Osim toga, audionski voltmetar samo kod malenih napona pokazuje e f e k t i v n e vrijednosti (do nekih 0,14 V_{ef}). Kod većih izmjeničnih napona na rešetki i uz veće odvodne otpore pokazuje voltmetar približno t j e m e n e vrijednosti mjerenog napona; rešetkin kondenzator C_g se naime uslijed struje ΔI_g nabije toliko negativno, da je napon $\Delta U_g = \mathfrak{U}$, jer naboj kondenzatora ne može dovoljno brzo otjecati preko otpora R_g. Zato se audionski voltmetar većinom upotrebljava samo za mjerenje s i n u s o i d n i h izmjeničnih napona. Prema vrsti triode i njezinom istosmjernom anodnom naponu U_a mjerno područje ide do nekoliko V_{ef}. Kako još osim toga moraju pogonski naponi kod audionskog voltmetra imati veliku konstantnost, nema ovaj elektronski voltmetar u praksi veće značenje.

149. — U mnogim slučajevima opisani elektronski voltmetri nemaju dovoljno veliku osjetljivost, kao na primjer kod mjerenja jakosti polja, mjerenja prigušenja itd. U takvim slučajevima mora se mjereni izmjenični napon pojačati u *pretpojačalu.* Ovdje se nailazi na poteškoću, što pretpojačalo mora imati približno jednako pojačanje u cijelom frekventnom području; kod visokih frekvencija naime kapaciteti elektronke, kapaciteti vodova i spoja (»štetni kapaciteti«) ograničuju pojačanje (vidi dio II, odsjeke 80, 81 i 197). Kao pretpojačala dolaze kod elektronskih voltmetara u obzir uglavnom *aperiodska pojačala,* dakle otporna



Sl. 147.

pojačala. Na sl. 147. vidimo shemu dvostepenog elektronskog voltmetra s anodnim ispravljanjem. U pretpojačalu je upotrijebljena pentoda V_1 (na primjer AF 7); odvodni otpor $R_g = 10\ M\Omega$, katodni otpor (za dobivanje negativnog prednapona od 2,5 do 2,8 V) $R_1 = 1\ k\Omega$, prenosni kondenzatori $C_1 = 100\ \mu F$, $C_2 = 5\,000\ pF$ i $C_3 = 8\ \mu F$, filtarski otpor $R_3 \approx 60\ k\Omega$. Kondenzator C_2, koji je paralelno spojen elektrolitskom kondenzatoru C_1, premoštava prilično veliki otpor gubitaka kod visokih frekvencija kondenzatora C_1 i pruža lakši put visokofrekventnim titrajima prema minus-vodu. Anodni otpor R_2 ima samo oko 20 kΩ, tako da je faktor pojačanja oko 25; no na taj način ostaje utjecaj štetnih kapaciteta sve do frekvencija od kojih 1 MHz vrlo malen. Pojačani izmjenični naponi dovode se preko kondenzatora $C_4 = 0{,}1\ \mu F$ triodi V_2 (na primjer AC 2). Ovdje imamo kao i na sl. 144, u anodnom krugu spoj s mostom. Ako su otpori R_1, R_2 i R_4 bez kapaciteta i induktiviteta, a kondenzatori C_2 i C_4 bez induktiviteta, tada ovaj elektronski voltmetar radi besprijekorno u frekventnom području od kojih 10 Hz, pa do 1 MHz. Ako potrošak instrumenta mA iznosi 0,1 mA, tada najveći mjerni napon (na ulaznim priključnicama a—b) iznosi nekoliko desetaka mV_{ef}, dok najmanji napon, koji se još može tačno mjeriti, iznosi nekoliko mV_{ef}. Budući da je pojačanje pretpojačala jako ovisno o istosmjernom anodnom naponu U_a, anodni napon se ne smije mijenjati. Zbog toga se mrežni dio mora stabilizirati; to se najjednostavnije postiže tako, da se između plus-pola i minus-pola mrežnog dijela spoji tinjalica GR (sl. 148). Tinjalica ima naime svojstvo da je napon na njezinim priključcima u stanovitom području jakosti struje neovisan o promjenama napona na mreži. Veličina predotpora R_v, koji sprečava preopterećenje tinjalice, ovisi o vrsti tinjalice (na primjer 5 kΩ kod tinjalice GR 150). U mrežnom dijelu nalazi se još filtar C_1 — NFD — C_2; R_v — C_3 djeluje istodobno i kao otporni filtar. Ostale pojedinosti vide se na sl. 148.



Sl. 148.

Ponavljanje

Kod *audionskog voltmetra* se za ispravljanje izmjeničnih napona iskorištava zakrivljenost U_g—I_g-karakteristike neke triode. Uslijed struje rešetke nastaje na odvodnom otporu napon, koji povećava prednapon elektronke i time smanjuje anodnu struju. Da se poveća osjetljivost, anodna struja mirovanja se kompenzira jednako velikom pomoćnom istosmjernom strujom. Audionski voltmetar ne radi posve bez potroška snage i pokazuje samo kod malenih izmjeničnih napona efektivne vrijednosti, dok kod većih napona pokazuje tjemene vrijednosti. Osjetlji-

vost bilo kakvog elektronskog voltmetra može se znatno povećati a p e r i o d s k i m p r e t p o j a č a l o m. U ovom slučaju naročito se mora paziti na to, da se pogonski istosmjerni naponi voltmetra ne mijenjaju, ako se mijenja napon mreže; ovo se može postići stabiliziranjem mrežnog dijela pomoću tinjalice.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Na kojem principu se osniva djelovanje audionskog voltmetra? *Odgovor:* Na ventilnom djelovanju sistema rešetka-katoda neke triode; struja rešetke proizvodi na odvodnom otporu napon, koji povećava negativni prednapon triode i time uzrokuje opadanje anodne struje. — *P.:* Kako se kod mjerenja može potisnuti anodna struja mirovanja? *O.:* Pomoćnom strujom protivnoga smjera ili mostom u anodnom krugu. — *P.:* Kakve nedostatke ima audionski voltmetar? *O.:* On ne radi posve bez potroška snage i mogu se većinom mjeriti samo sinusoidni izmjenični naponi. — *P.:* Kako se osjetljivost elektronskog voltmetra može znatno povisiti? *O.:* Aperiodskim pretpojačalom. — *P.:* Koliki su tada najmanji naponi, koji se još mogu tačno mjeriti? *O.:* Naponi od nekoliko mV_{ef}. — *P.:* Na što se mora naročito paziti kod gradnje aperiodskih pojačala? *O.:* Da štetni kapaciteti budu što manji. — *P.:* Kakvi se pogonski zahtjevi stavljaju na višestepeni elektronski voltmetar? *O.:* Pogonski istosmjerni naponi ne smiju biti ovisni o promjenama napona mreže. — *P.:* Kako se ovo može postići? *O.:* Stabiliziranjem istosmjernih napona pomoću tinjalice.

Pitanja

55. Koje smo vrste elektronskih voltmetara upoznali?

56. Kakva je razlika između voltmetra s anodnim ispravljanjem, audionskog voltmetra, s obzirom na promjene anodne istosmjerne struje?

57. Na koji se način može osjetljivost elektronskog voltmetra povećati?

Zadaci

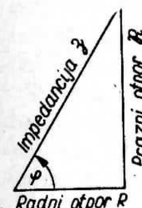
40. Da se naponsko područje elektronskog voltmetra proširi na 10, 100, odnosno 1 000 puta veći iznos od najvećeg dopuštenog ulaznog napona na rešetki, potrebno je na ulazu dodati djelitelj napona s ukupnim otporom od 10 MΩ. a) Nacrtaj shemu djelitelja napona! b) Koliki moraju biti pojedini otpori djelitelja napona?

41. U nekom audionskom voltmetru rešetkin kondenzator ima 10 000 pF, a odvodni otpor 5 MΩ. Kolika je najniža frekvencija mjerenog napona, ako rešetkin kondenzator ne smije uzrokovati pogrešku veću od 1%?

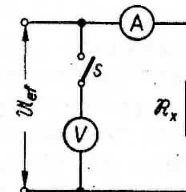
Mjerenje otpora za izmjeničnu struju

150. — Nakon opširnih razgovora o najvažnijim mjernim uređajima sada ćemo upoznati osnovne *mjerne metode radio-tehnike;* budući da se ovdje radi o vrlo opsežnom području, morat ćemo se ograničiti samo na najvažnije mjerne metode. To je u prvom redu *mjerenje otpora za izmjeničnu struju*[15]), dakle *mjerenje radnih otpora R, induktivnih praznih otpora* $\mathfrak{R}_L = \omega L$, kapacitivnih praznih otpora $\mathfrak{R}_c = 1/\omega C$ i prividnih otpora *(impedancija)* $\mathfrak{Z} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ odnosno $\mathfrak{Z} = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$. Označimo li sasvim općenito induktivni, odnosno kapacitivni prazni otpor s $\mathfrak{R}_b$, tada je prividni otpor $\mathfrak{Z} = \sqrt{R^2 + \mathfrak{R}_b^2}$, to jest $\mathfrak{Z}$ se može smatrati hipotenuzom pravokutnog trokuta s katetama R i $\mathfrak{R}_b$ nacrtanog na sl. 149.

151. — Najjednostavnija metoda za mjerenje otpora za izmjeničnu struju je *E—I*-metoda, koja se također i u tehnici istosmjernih struja upotrebljava za mjerenje otpora (sl. 150) $\mathfrak{R}_x$ je nepoznati otpor za izmjeničnu struju, *A* je ampermetar za izmjeničnu struju, a *V* voltmetar za izmjeničnu struju, koji se može sklopkom *S* isključiti. Ako se kroz mjerni krug pošalje što pravilniji sinusoidni izmjenični napon $\mathfrak{U}_{ef}$ (mreža izmjenične struje ili još bolje tongenerator, odnosno visokofrekventni generator), tada kroz $\mathfrak{R}_x$ teče izmjenična struja $\mathfrak{I}_{ef}$; po Ohmovom zakonu je tada $\mathfrak{R}_x = \mathfrak{U}_{ef}/\mathfrak{I}_{ef}$. Kod mjerenja *radnih otpora* bez induktiviteta i kapaciteta može se staviti da je $\mathfrak{R}_x = R$. Kod mjerenja *praznih* otpora je, međutm, $R_x = \mathfrak{R}_L\ \omega L$, odnosno $\mathfrak{R}_x = \mathfrak{R}_C = 1/\omega C$, i to u slučaju kad je mjerni otpor za izmjeničnu struju *samoinduktivna zavojnica* bez radnog otpora i bez kapaciteta, odnosno *kondenzator* bez radnog otpora i samoinduktiviteta. Ako se dakle izmjeri $\mathfrak{R}_x$, tada se iz ovoga mogu izračunati veličine *L* i *C*. U slučaju da se radi o mjerenju *prividnih otpora,* tada se kod samoinduktivnih zavojnica stavlja $\mathfrak{R}_x = \mathfrak{Z} = \sqrt{\mathfrak{R}^2 + (\omega L)^2}$. Ako frekvencija priključenog napona $\mathfrak{U}_{ef}$ nije previsoka, tada je radni otpor *R* praktički jednak omskom otporu zavojnice (otporu za istosmjernu struju; vidi dio I, odsjek 8). U ovom slučaju se *R* mjeri pomoću izvora i s t o s m j e r n o g napona (spoj kao na sl. 150). Iz trokuta otpora može se naći prazna komponenta otpora $\mathfrak{R}_b$ i kut faznog pomaka φ između izmjeničnog napona i izmjenične struje.



Sl. 149.

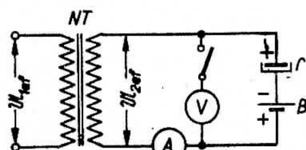


Sl. 150.

152. — Kod *kondenzatora* se kapacitet može većinom s dovoljnom tačnošću odrediti iz jednadžbe $\mathfrak{R}_C = 1/\omega C$, jer su gubici kod modernih kondenzatora vrlo maleni (vidi dio I, odsjeke 43 do 45). No ako se mjere *elektrolitski kondenzatori,* tada se oni moraju prije mjerenja oko 10 minuta držati pod i s t o s m j e r n i m naponom, koji mora biti približno

[15]) Naročito se preporuča da se ponovi slijedeće gradivo: Dio I, odsjek 7, 8, 17. do 24, 35 do 42; sve otpore za izmjeničnu struju prema dijelu II, odsjek 50. označivat ćemo gotskim slovima (na primjer $\mathfrak{R}_L$, $\mathfrak{R}_C$, $\mathfrak{Z}$), a sve radne otpore, odnosno čiste omske otpore (otpore istosmjernoj struji) latinskim slovima.

jednak pogonskom naponu elektrolitskog kondenzatora (vidi dio I, odsjeke 59. i 60); inače se mogu dobiti znatna odstupanja od pogonske vrijednosti kapaciteta. Mjerni spoj vidi se na sl. 151. Za mjerenje se upotrebljava izmjenični napon $\mathfrak{U}_{2ef} \approx 4\ V_{ef}$ koji se na primjer može dobiti iz jednostavnog transformatora NT, priključenog na mrežu s izmjeničnim naponom $\mathfrak{U}_{1ef}$, dok istosmjerni napon daje baterija B; C je mjereni elektrolitski kondenzator, koji se s obzirom na polove ispravno spoji, i kojeg se kapacitet dobiva na temelju izlaganja u odsjeku 151. Opisana metoda prikladna je za mjerenje kapaciteta kod niskovoltnih elektrolitskih kondenzatora; za visokovoltne elektrolitske kondenzatore, dakle za elektrolitske kondenzatore s visokim pogonskim istosmjernim naponom, upotrebljavaju se posebni spojevi s mostom. *Izolacioni otpor* kondenzatora, koji se ne smije zamijeniti s otporom gubitaka, može se dobiti jednostavnim mjerenjem otpora za istosmjernu struju; pri tome se na kondenzator priključi poznati istosmjerni napon i mjeri istosmjerna struja.



Sl. 151.

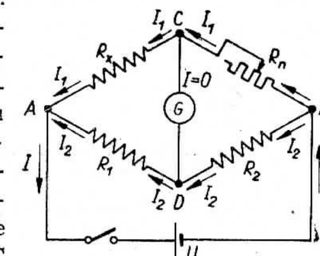
Ponavljanje

Najjednostavnija metoda, koja se primjenjuje kod mjerenja *otpora za izmjeničnu struju*, jest *E—I-metoda;* pri tome se mjeri izmjenični napon $\mathfrak{U}_{ef}$ i izmjenična struja $\mathfrak{J}_{ef}$, koja teče kroz otpor. Iz veličine izmjerenog induktivnog odnosno kapacitivnog praznog otpora može se izračunati veličina induktiviteta neke zavojnice, odnosno veličina kapaciteta nekog kondenzatora. Kod određivanja kapaciteta e l e k t r o l i t s k o g kondenzatora mora se kondenzator priključiti na izmjenični i istosmjerni napon. I z o l a c i o n i o t p o r kondenzatora dobiva se jednostavnim mjerenjem otpora pomoću istosmjerne struje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje sve vrste otpora za izmjeničnu struju poznajemo? *Odgovor:* Radne otpore, induktivne i kapacitivne prazne otpore i prividne otpore (impedancije). — *P.:* Kako se oni mogu na najjednostavniji način izmjeriti? *O.:* *E—I*-metodom. — *P.:* Kako se mjeri ovom metodom? *O.:* Na nepoznati otpor $\mathfrak{R}_x$ priključi se poznati izmjenični napon $\mathfrak{U}_{ef}$ i mjeri struja $\mathfrak{J}_{ef}$, koja teče kroz otpor; tada je $\mathfrak{R}_x = \mathfrak{U}_{ef}/\mathfrak{J}_{ef}$. — *P.:* Kako se mogu odrediti induktiviteti zavojnica, odnosno kapaciteti kondenzatora? *O.:* Iz izmjerenog induktivnog, odnosno kapacitivnog praznog otpora. — *P.:* Vrijedi li ovo i kod zavojnica, koje imaju veći radni otpor? *O.:* Vrijedi; samo frekvencija napona ne smije biti previsoka, kako bi se moglo uzeti da je radni otpor zavojnice jednak omskom otporu. — *P.:* Na što treba paziti kod određivanja kapaciteta elektrolitskih kondenzatora? *O.:* Elektrolitski kondenzator mora se priključiti ne samo na izmjenični nego i na istosmjerni napon. — *P.:* Zašto je ovo potrebno? *O.:* Zato što kapacitet elektrolitskog kondenzatora ovisi o veličini pogonskog istosmjernog napona. — *P.:* Kako se može izmjeriti izolacioni otpor kondenzatora? *O.:* Jednostavnim mjerenjem otpora pomoću istosmjerne struje.

153. — Daljnje važno pomoćno sredstvo mjerne radio-tehnike je *Wheatstoneov most* (čitaj: Vitston), ili kratko *mjerni most*, koji se mnogo primjenjuje i u općoj elektrotehnici. Ovdje se radi o spoju koji se sastoji od četiri otpora R_1, R_2, R_n i R_x (sl. 152). U jednoj dijagonali nalazi se osjetljivi galvanometar *G*, koji ne mora biti baždaren, a u drugoj dijagonali izvor istosmjernog napona *U*. Otpori moraju biti takvi da u dijagonali *CD*, takozvanom »mostu«, kroz galvanometar ne teče *nikakva struja.* Ovo je slučaj kad je napon između tačaka *B* i *C* (odnosno *A* i *C*) s jedne strane, i između tačaka *B* i *D* (odnosno *A* i *D*) s druge strane jednako velik, to jest kad je napon između tačaka *C* i *D* jednak nuli. Ukupna struja *I* dijeli se u tački *B* na dvije komponente I_1 i I_2; u tački *A* sastaju se obje komponente i ponovno čine ukupnu struju $I = I_1 + I_2$. Ako je most ugođen, vrijede jednadžbe: $I_1 \cdot R_n = I_2 \cdot R_2$ i $I_1 \cdot R_x = I_2 \cdot R_1$. Iz ovoga slijede jednadžbe: $I_2/I_1 = R_n/R_2$ i $I_2/I_1 = R_x/R_1$, a odavle:



Sl. 152.

$$\boxed{\frac{R_x}{R_n} = \frac{R_1}{R_2}} \quad \ldots\ldots \quad (26)$$

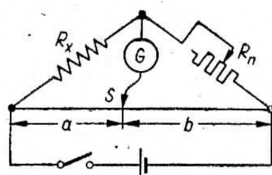
No možemo također pisati: $R_x \cdot R_2 = R_n \cdot R_1$, to jest u *Wheatstoneovom mostu nema struje, ako su produkti iz suprotnih otpora jednaki.* Ako su dakle tri od četiri otpora poznata, tada se četvrti, nepoznati otpor R_x može iz jedn. (26) izračunati. U praksi su otpori R_1 i R_2 stalni poznati otpori, dok je R_n također poznat, ali i promjenljiv »normalni otpor« (na primjer otpor s čepovima).

154. — Wheatstoneov most se može mnogo pojednostavniti, ako se namjesto otpora R_1 i R_2 stavi kao otpor gola *žica* (sl. 153); po žici, na primjer dugoj 1 m i od kromnikla, klizi klizač *S*. Kod takvog *mosta s kliznom žicom* klizač se namješta tako, da u mostu nema struje. Budući da se otpori dviju jednako debelih žica od istog materijala odnose kao njihove dužine, može se staviti $R_1/R_2 = a/b$, gdje su *a* i *b* dijelovi žice lijevo i desno od klizača *S*. Prema jednadžbi (26) dobivamo nepoznati otpor R_x iz jednadžbe:

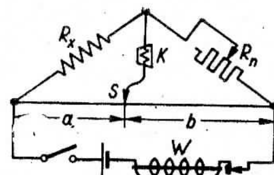
$$\boxed{R_x = \frac{a}{b} \cdot R_n} \quad \ldots\ldots \quad (27)$$

Kod mjerenja otpora R_x potrebno je sada, dakle, poznavati samo jedan jedini otpor, naime R_n; ovaj treba da ima vrijednost približno takvu kakvu ima R_x, da klizač *S* kod ugađanja mosta ne bi trebalo pomicati

suviše nalijevo, odnosno nadesno prema kraju žice, jer bi se time smanjivala tačnost mjerenja. U ovakvom slučaju ispod žice se može postaviti skala direktno s razdiobom u omima (ovisno o R_n).

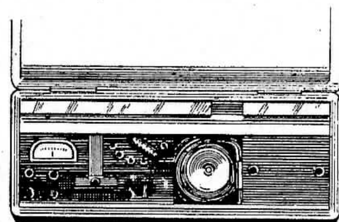


Sl. 153.



Sl. 154.

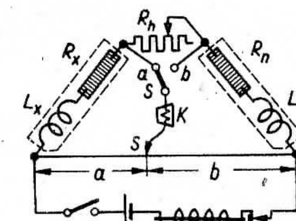
155. — Wheatstoneov most može se primijeniti i prilikom mjerenja otpora za izmjeničnu struju. U ovom slučaju se umjesto izvora istosmjernog napona upotrebljava izvor izmjeničnog napona, na primjer zujalo W (vidi dio I, odsjek 125), a umjesto galvanometra ukopča se slušalica K (sl. 154); zujalo daje na primjer tonsku frekvenciju oko 1 000 Hz. Ugađanje mosta vrši se tako, da se namješta u položaj, u kojem se ton ne čuje, odnosno u položaj, u kojem je ton u slušalici K najslabiji. Razumljivo da se ovim mostom mogu mjeriti i otpori za istosmjernu struju. Štaviše, dobiva se naročito velika tačnost mjerenja, jer je dobra slušalica osjetljiva već na izmjeničnu struju od kojih 10^{-8} A $= 10^{-5}$ mA! Na sl. 155. vidimo praktičku izvedbu jednog mosta s kliznom žicom za mjerenja s istosmjernom i izmjeničnom strujom. Gore se nalazi 250 mm duga mjerna žica s klizačem, lijevo je galvanometar (osjetljivost 10^{-5} A po jednoj crti skale), desno od ovoga uređaj za prebacivanje na različite otpore R_n, a još dalje desno slušalica. Kao izvor napona služi ugrađena baterija za džepnu svjetiljku s naponom od 4,5 V; ton zujala može se izvana ručno regulirati. Spoj ovog mosta uglavnom odgovara sl. 153. i 154. Prekapčanje s jedne vrste struje na drugu vrši se posebnim tipkalom. Mjerno područje proteže se od 0,01 oma do 2000 kilooma i razdijeljeno je na pet područja s faktorima za preračunavanje 0,1, 1, 10, 100 i 1 000.



Sl. 155.

156. — Pomoću mosta s kliznom žicom prema sl. 154, odnosno 155, mogu se mjeriti također *kapaciteti* C_x *i induktiviteti* L_x; tada se normalni otpor R_n zamijeni s kondenzatorom poznatog kapaciteta C_n, odnosno zavojnicom poznatog induktiviteta L_n. Kad se u slušalici ne čuje ton, odnosno kad je ton najslabiji, tada prema jedn. (27) za kondenzatore vrijedi: $1/\omega C_x = a/(b\omega C_n)$, dakle: $C_x = (b/a) \cdot C_n$, a za zavojnice: $\omega L_x = a \cdot \omega L_n/b$, to jest $L_x = (a/b) \cdot L_n$. Za tačna mjerenja mora se upotrijebiti izmjenični napon sa što pravilnijom sinusoidnom krivuljom (na primjer zujalo s viljuškom, tongenerator). Kod mjerenja induktiviteta dobivaju se samo onda tačne vrijednosti, ako su radni otpori od L_x i L_n mnogo manji nego otpori za izmjeničnu struju ωL_x i ωL_n. No ovo kod niskih frekvencija i malenih zavojnica (na primjer kod visokofrekventnih zavojnica prijemnika) većinom nije slučaj; tada se ni most ne može tačno ugoditi. U takvom slučaju treba mjernu frekvenciju povisiti na nekoliko kHz; kod suviše visokih frekvencija dolazi, međutim, do poteškoća uslijed kapacitivnih djelovanja.

157. — Postoji mogućnost, da se i uz razmjerno velike, odnosno različito velike radne otpore, mjerene zavojnice i poznate zavojnice induktiviteti tačno izmjere. U most s kliznom žicom se, naime, umetne promjenljivi pomoćni otpor R_h (sl. 156). R_n odnosno R_x su radni otpori zavojnice L_n odnosno L_x. Ako preklopac S stoji na kontaktu a, tada uz ugođeni most (slušalica K bez tona) prema jedn. (27) imamo: $R_x = a(R_n + R_h)/b$, jer su R_n i R_h spojeni u seriju. Stoji li preklopac S na kontaktu b, tada u slučaju, kad se ne čuje ton, vrijedi: $R_x + R_h = a \cdot R_n/b$ ili: $R_x = a \cdot R_n/b - R_h$. U praksi se odabire onaj položaj preklopca, kod kojeg se dobiva povoljniji odnos a/b. Da se kod ugađanja mosta ton u slušalici K čuje što slabije, moraju se klizač na mjernoj žici, a isto tako i pomoćni otpor R_h, ispravno namjestiti. Pomoćni otpor R_h mora biti bez induktiviteta i promjenljiv od nekoliko desetinki do nekoliko desetaka oma. Kad se ton ne čuje, vrijedi: $L_x = a \cdot L_n/b$. Vidimo, dakle, da se ovim preinačenim mostom može mjeriti ne samo induktivitet L_n, nego i radni otpor R_x nepoznate zavojnice, u slučaju, ako je radni otpor R_n zavojnice L_n poznat.



Sl. 156.

Ponavljanje

Wheatstoneov most (mjerni most) sastoji se od četiri otpora spojena u četvorokut. Kroz most ne teče struja, ako su produkti suprotnih otpora jednaki. Kod mosta s kliznom žicom dva su otpora načinjena od gole žice po kojoj klizi klizač, dok je treći otpor baždareni otpor, a četvrti mjereni otpor. Ako se mjerni most priključuje na izvor istosmjernog napona, tada se kao indikator upotrebljava osjetljivi galvanometar. Kod pogona s izmjeničnom strujom upotrebljava se zujalo; kao indikator u ovom slučaju služi slušalica. Mjernim mostom mogu se mjeriti omski otpori i otpori za izmjeničnu struju, a isto tako induktiviteti i kapaciteti. Ako radni otpori mjerenih zavojnica nisu mnogo ma-

nji od induktivnih otpora, tada je most bez struje samo onda, ako su radni otpori ugođeni pomoćnim otporom, a induktivni otpori kliznom žicom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je građen Wheatstoneov most? *Odgovor:* On se sastoji od četiri otpora, koji su poredani u obliku četverokuta; u jednoj dijagonali (most) nalazi se osjetljivi galvanometar, a u drugoj dijagonali izvor napona. — *P.:* Kada kroz most ne teče struja? *O.:* Kad su produkti iz suprotnih otpora jednaki. — *P.:* Što je most s kliznom žicom? *O.:* Wheatstoneov most kod kojeg dva otpora čini klizna žica. — *P.:* Kako se ugađa most s kliznom žicom? *O.:* Klizač se po kliznoj žici pomiče tako dugo, dok most ne ostane bez struje. — *P.:* Kako se na ovaj način mogu mjeriti otpori? *O.:* Kad kroz most ne teče struja, vrijedi: $R_x = (a/b) \cdot R_n$; ovdje je R_x traženi otpor, R_n poznati otpor, *a* i *b* dijelovi klizne žice s obje strane klizača. — *P.:* Kako se može povećati osjetljivost mosta s kliznom žicom? *O.:* Upotrebom izvora izmjeničnog napona, na primjer zujala, i slušalice u mostu umjesto galvanometra. — *P.:* Kada ova metoda ne daje tačne vrijednosti? *O.:* Kod mjerenja induktiviteta zavojnica, ako radni otpori nisu mnogo manji od induktivnih otpora. — *P.:* Kako se ovaj nedostatak može otkloniti? *O.:* Tako da se ugađaju ne samo induktivni otpori pomoću klizne žice, nego i radni otpori pomoću jednog pomoćnog otpora.

Pitanja

58. Kako se mogu mjeriti induktiviteti i kapaciteti?
59. Kakvu praktičku prednost ima most s kliznom žicom?

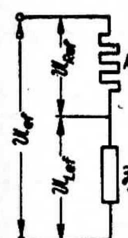
Zadaci

42. Neki kondenzator mjeren je po *E—I*-metodi izmjeničnim naponom od 100 V_{ef} i 50 Hz; izmjenična struja je iznosila 3,15 mA_{ef}. Koliki je kapacitet ovog kondenzatora?
43. Kroz neku zavojnicu teče uz istosmjerni napon od 4 V struja od 10 mA; a uz izmjenični napon od 50 V_{ef} i 800 Hz struja od 25 mA_{ef}. Koliki su: a) radni otpor, b) impedancija; c) induktivitet zavojnice i d) kut faznog pomaka između izmjeničnog napona i izmjenične struje?
44. Pomoću mosta s kliznom žicom prema sl. 154. potrebno je izmjeriti kapacitet nekog kondenzatora; kod toga je otpor R_n nadomješten kondenzatorom kapaciteta C_n = 1 000 pF, a otpor R_x mjerenim kondenzatorom. Koliki je kapacitet mjerenog kondenzatora, ako uz ugođeni most klizač dijeli mjernu žicu na dijelove a = 100 mm i b = 150 mm?

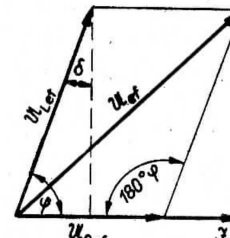
Metoda triju napona

158. — *Metodom triju napona* moguće je iz jednostavnog mjerenja napona, odnosno struja, odrediti *sve važne vrijednosti zavojnica i kondenzatora,* dakle induktivitet *L*, kapacitet *C*, kut faznog pomaka φ, kut gubitaka δ i radnu snagu $\mathfrak{N}$. Spojimo li, naime, u seriju s nepoznatom induktivnom impedancijom $\mathfrak{Z}_L$ (sl. 157) neki poznati čisti omski otpor *R* (na primjer ugljeni otpor, žarulju) i mjerimo priključeni napon $\mathfrak{U}_{ef}$,

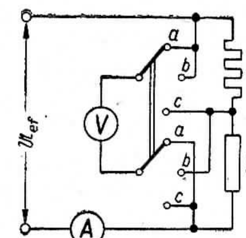
djelomični napon $\mathfrak{U}_{Ref}$ na omskom otporu *R* i djelomični napon $\mathfrak{U}_{Lef}$ na induktivnoj impedanciji $\mathfrak{Z}_L$, tada se dobiva vektorska slika izmjeničnih napona prikazana na sl. 158. Djelomični naponi $\mathfrak{U}_{Ref}$ i $\mathfrak{U}_{Lef}$ sastavljaju se po poznatom zakonu paralelograma u ukupni napon $\mathfrak{U}_{ef}$. Za mjerenje nisu



Sl. 157.



Sl. 158.



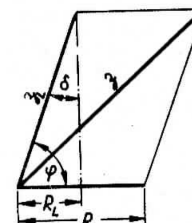
Sl. 159.

neophodno potrebna tri voltmetra. Izvedemo li naime spoj prema sl. 159, tada možemo izaći s jednim jedinim voltmetrom *V*. U položaju prekopnika *a* mjeri se $\mathfrak{U}_{ef}$, u položaju *b* napon $\mathfrak{U}_{Ref}$, a u položaju *c* napon $\mathfrak{U}_{L\cdot ef}$. Voltmetar mora imati što veći unutarnji otpor (elektronski voltmetar!), da bi njegov vlastiti potrošak što manje utjecao na mjerenje izmjenične struje $\mathfrak{J}_{ef}$ ampermetrom *A*.

159. — Metodom triju napona mogu se, između ostaloga, mjeriti također i *kutovi faznog pomaka i kutovi gubitaka.* Iz sl. 158. dobivamo za kut faznog pomaka između napona i struje u impedanciji $\mathfrak{Z}_L$ po kosinusovom poučku:

$$\cos \varphi = \frac{\mathfrak{U}_{ef}^2 - \mathfrak{U}_{Ref}^2 - \mathfrak{U}_{Lef}^2}{2\, U_{Ref} \cdot \mathfrak{U}_{Lef}} \quad \ldots\ldots \quad (28)$$

Kut gubitka je tada $\delta = 90^0 - \varphi$, odnosno *faktor gubitaka* $tg\,\delta = 1/tg\,\varphi$ (vidi dio I, odsjek 25). Ako je $\mathfrak{J}_{ef}$ jakost struje koju u sl. 159. pokazuje ampermetar *A*, tada je prema Ohmovom zakonu *impedancija:* $\mathfrak{Z}_L = \mathfrak{U}_{Lef}/\mathfrak{J}_{ef}$. I sl. 158. može se odmah dobiti vektorska slika otpora koju prikazuje sl. 160; potrebno je samo sve napone u sl. 158. podijeliti s $\mathfrak{J}_{ef}$, pa da se dobiju odgovarajući otpori (vidi dio I, odsjek 23). Ako s R_L označimo *radni otpor* induktivne impedancije $\mathfrak{Z}_L$, tada iz sl. 160. slijedi: $R_L = \mathfrak{Z}_L \cdot \cos\varphi = \mathfrak{U}_{Lef} \cdot \cos\varphi/\mathfrak{J}_{ef}$. Nadalje je *radna snaga* (vidi dio I, jedn. (39). $\mathfrak{N} = \mathfrak{U}_{Lef} \cdot \mathfrak{J}_{ef} \cdot \cos\varphi$. Iz $\mathfrak{Z}_L = \sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}$ (vidi odsjek 150) dobivamo *induktivitet impedancije:* $L = \sqrt{\mathfrak{Z}_L^2 - R_L^2}/\omega$ ili s gornjim vrijednostima:



Sl. 160.

$$L = \frac{1}{\omega}\sqrt{\frac{\mathfrak{U}_{Lef}^2}{\mathfrak{J}_{ef}^2} - \frac{\mathfrak{U}_{Lef}^2}{\mathfrak{J}_{ef}^2} \cdot \cos^2\varphi}, \text{ to jest: } L = \frac{1}{\omega}\sqrt{\left(\frac{\mathfrak{U}_{Lef}}{\mathfrak{J}_{ef}}\right)^2 (1 - \cos^2\varphi)}.$$

Ako se u mjernom krugu ne nalazi zavojnica nego k o n d e n z a t o r, tada se iz $\mathfrak{Z}_C = \sqrt{R_C^2 + (1/\omega C)^2}$ (vidi odsjek 150) dobiva *kapacitet* kapacitivne impedancije: $1/\omega C = \sqrt{\mathfrak{Z}_C^2 - R_C^2}$, dakle: $C = 1/(\omega\sqrt{\mathfrak{Z}_c^2 - R_c^2})$, ovdje je R_C radni otpor, za koji se zamišlja da je spojen u seriju s kapacitetom C kondenzatora. Označimo li s $\mathfrak{U}_{Cef}$ izmjenični napon izmjeren na kapacitivnoj impedanciji $\mathfrak{Z}_C$, tada imamo slično predašnjemu: $\mathfrak{Z}_C = \frac{\mathfrak{U}_{Cef}}{\mathfrak{J}_{ef}}$ i $R_C = \mathfrak{Z}_C \cdot \cos\varphi = \frac{\mathfrak{U}_{Cef}}{\mathfrak{J}_{ef}} \cdot \cos\varphi$. Tako dobivamo:

$$C = \frac{1}{\omega\sqrt{\left(\frac{\mathfrak{U}_{Cef}}{\mathfrak{J}_{ef}}\right)^2 (1 - \cos^2\varphi)}}.$$

Ovi izvodi nam jasno pokazuju koliku vrijednost ima metoda triju napona; ovom metodom mogu se zaista dobiti sve važne vrijednosti kod zavojnice i kondenzatora.

Ponavljanje

Metodom triju napona mogu se izmjeriti sve važne vrijednosti zavojnica i kondenzatora. U seriju s nepoznatom impedancijom spaja se poznati čisti omski otpor i na ovaj serijski spoj priključuje se izmjenični napon. Tada se mjere djelomični naponi na impedanciji i na omskom otporu, kao i priključeni napon. Uz pomoć prikladnog preklopnika mogu se ova mjerenja izvršiti jednim jedinim visokoomskim voltmetrom. Iz mjerenja triju napona dobiva se vektorska slika napona i otpora; iz ovoga se može izračunati kut faznog pomaka, kut gubitaka, a uz poznavanje jakosti izmjenične struje također impedancija, radni otpor, radna snaga i induktivitet, odnosno kapacitet mjerenog objekta.

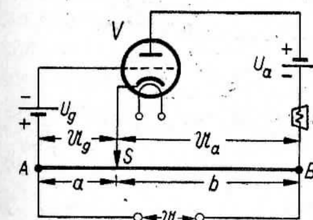
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakvo praktičko značenje ima metoda triju napona? *Odgovor:* Ovom metodom mogu se odrediti sve važne vrijednosti kod zavojnica i kondenzatora. — *P.:* Kako se radi po metodi triju napona? *O.:* U seriju s nepoznatom impedancijom spoji se poznati čisti omski otpor; tada se na ovaj spoj priključi poznati izmjenični napon i izmjere se pojedinačni naponi na impedanciji i na omskom otporu. — *P.:* Što se dobiva iz triju izmjerenih napona? *O.:* Vektorska slika napona i otpora. — *P.:* Koje se važne veličine mogu dobiti pomoću ovih vektorskih slika? *O.:* Kut faznog pomaka, kut gubitaka, impedancija, radni otpor, radna snaga i induktivitet mjerene zavojnice, odnosno kapacitet mjerenog kondenzatora.

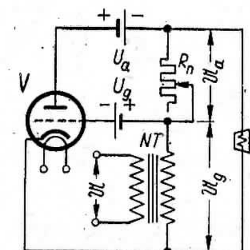
Mjerenja na elektronkama

160. — Kao što znamo iz mnogobrojnih primjena elektronki u pojačalima, prijemnicima i odašiljačima, način djelovanja elektronke može se lijepo vidjeti iz *U_g—I_a-karakteristika* i *U_a—I_a-karakteristika.* Prema tome s n i m a n j e ovih karakteristika predstavlja jedno od najvažnijih mjerenja na elektronkama. Kako se ove karakteristike praktički snimaju, opširno smo govorili već u dijelu I, odsjek 260. do 262. Nadalje iz dijela I, odsjek 266. do 270. znamo, da se pomoću U_g—I_a-karakteristika, odnosno U_a—I_a-karakteristika mogu lako odrediti osnovne veličine elektronke, naime *prohvat D, strmina S* i *unutarnji otpor R_i*; nije, dakle, potrebno da u ovo ponovo ulazimo. Ipak ćemo na ovom mjestu posebno istaknuti da veličine *D, S* i R_i n i s u neke s a v r š e n o k o n s t a n t n e v r i j e d n o s t i, nego ovise o izboru radne tačke na karakteristici elektronke!

161. — Budući da snimanje karakteristika često za elektronku predstavlja jako opterećenje (naročito kod izlaznih elektronki!), a osim toga zahtijeva razmjerno dugo vrijeme, to se ovaj način određivanja veličina



Sl. 161.

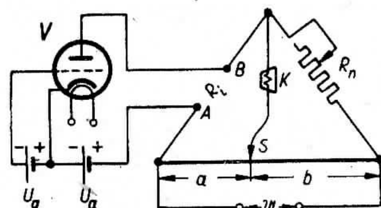


Sl. 162.

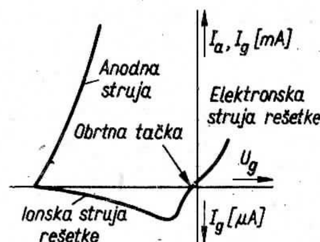
D, S i R_i uvijek ne preporuča. Zato ćemo upoznati po jednu metodu za d i r e k t n o mjerenje ovih veličina; radi se o mjerenju i z m j e n i č n o m **strujom. Kod *mjerenja prohvata D* elektronka *V* se spoji prema sl. 161. Uzbudnoj rešetki** se dade ispravan negativni prednapon U_g, a anodi anodni istosmjerni napon U_a. Istodobno uzbudna rešetka i anoda dobivaju izmjenični napon $\mathfrak{U}_g$, odnosno $\mathfrak{U}_a$; ovi naponi su s u p r o t n o g predznaka i dobivaju se s klizne žice *AB*, koja je priključena na napon $\mathfrak{U}$. Sada se klizač *S* pomiče tako dugo, dok u slušalici *K* ne nestane tona, to jest dok se djelovanja izmjeničnih napona $\mathfrak{U}_g$ i $\mathfrak{U}_a$ na anodnu struju ne ponište, te anodna izmjenična struja prestane teći. Tada je: $D = \mathfrak{U}_g/\mathfrak{U}_a = a/b$, jer je prohvat jednak odnosu promjene napona na rešetki prema promjeni napona na anodi uz konstantnu anodnu struju (vidi dio I, jedn. (89). Budući da se kod ovog načina mjerenja radi o n u l - -m e t o d i, (namješta se dotle dok ne nestane tona!), dobivaju se za prohvat posve tačne vrijednosti.

162. — Na sl. 162. vidimo shemu *spoja za mjerenje strmine S* elektronke. Uzbudna rešetka elektronke *V* ne dobiva samo ispravan negativni prednapon U_g, nego istodobno preko niskofrekventnog transformatora *NT* dobiva i izmjenični napon $\mathfrak{U}_g$. Tako nastaje izmjenična anodna struja $\mathfrak{J}_a$, koja na anodnom otporu R_n proizvodi pad napona $\mathfrak{U}_a = \mathfrak{J}_a \cdot R_n$. Reguliranjem otpora R_n može se postići da bude $\mathfrak{U}_a = -\mathfrak{U}_g$; u ovom slučaju nestane tona u slušalici *K*. Tada vrijedi: $\mathfrak{U}_a = -\mathfrak{U}_g = \mathfrak{J}_a \cdot R_n$, ili bez obzira na negativni predznak: $S = \mathfrak{J}_a/\mathfrak{U}_g = 1/R_n$. Promjenljivi otpor $R_n = 1/S$ ima vrijednost od 1 do 10 kΩ i, da uspije dobro ugađanje, mora

biti bez kapaciteta i induktiviteta. Na koncu sl. 163. pokazuje spoj za *mjerenje unutarnjeg otpora* R_i neke elektronke; ovdje se radi o poznatom Wheatstoneovom mostu (most s kliznom žicom; vidi sl. 154). Budući da se u ovom slučaju elektronka V ponaša kao omski otpor (vidi dio I odsjek 269), to prema jedn. (27), kad se u slušalici K ne čuje ton, vrijedi: $R_i = (a/b) \cdot R_n$. U praksi je većinom $a/b \approx 10$, dakle $R_i \approx 10\ R_n$. Napominjemo još, da kod ovog mjerenja izmjenični napon na rešetki mora biti



Sl. 163.



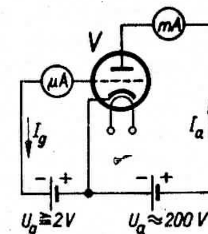
Sl. 164.

tako malen, da se dio karakteristike elektronke, koji dolazi u obzir za uzbuđivanje, može smatrati pravocrtnim; inače nastaju nelinearna izobličenja, koja onemogućuju da slušalica ugađanjem ostane bez tona.

163. — Među najvažnija mjerenja na elektronkama spada i *ispitivanje vakuuma*, dakle ispitivanje, nema li ostataka plinova u elektronki. Uz savršen vakuum i uz negativni prednapon od barem 2 V ne teče kroz elektronku n i k a k v a s t r u j a r e š e t k e, jer sve elektrone, koji lete k anodi, uzbudna rešetka odbija. No ako vakuum n i j e s a v r š e n, ako se dakle još razmjerno mnogo molekula plina nalazi u elektronki, tada se elektroni s jednim dijelom ovih molekula sudaraju i rastavljaju ih na pozitivne i o n e i negativne elektrone (ionizacija). Tako nastali elektroni lete k pozitivnoj anodi, a pozitivni ioni k negativnoj uzbudnoj rešetki. Na taj način dolazi do *ionske rešetkine struje* I_g, koja ima smjer p r o t i v a n smjeru elektronske rešetkine struje; elektronska rešetkina struja, kao što je poznato, teče u slučaju, kad je rešetka pozitivna ili kad nije dovoljno negativna. P r o m j e n a s m j e r a s t r u j e, kad se pomalo povisuje negativni prednapon, siguran je znak da dolazi do ionske rešetkine struje (sl. 164). Kako se pokusima može utvrditi, ionska rešetkina struja I_g razmjerna je istosmjernoj anodnoj struji I_a i tlaku plina p: $I_g = K \cdot p \cdot I_a$. Faktor K ovisi o rasporedu elektroda i istosmjernom anodnom naponu U_a dotične elektronke. Stavimo li, da je $K \cdot p = k$, tada dobivamo, da je *faktor vakuuma:*

$$k = \frac{I_g}{I_a} \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

Faktor vakuuma je direktna mjera za dobrotu vakuuma. Kod »dobrog« vakuuma mora faktor vakuuma k biti manji od $1/10\,000 = 10^{-4}$. Na sl. 165. prikazan je spoj za *mjerenje faktora vakuuma*.



Sl. 165.

Da se može mjeriti vrlo malena ionska rešetkina struja (10^{-6} do 10^{-8} A ili 10 do 0,1 μA) potreban je vrlo osjetljiv galvanometar μ*A*, dok je za mjerenje anodne struje dovoljno imati na raspolaganju jednostavni miliampermetar *mA*. Kod mjerenja treba naročito paziti na to, da između rešetke i anode bude odlična izolacija; inače dolazi do struja, koje imaju istu veličinu i smjer kao i ionska rešetkina struja, te dobivamo krive podatke o vakuumu. Isključivanjem žarenja kod elektronke V, mora I_g i I_a nestati, ali ne i struja do koje dolazi uslijed loše izolacije.

Ponavljanje

Jedno od najvažnijih mjerenja na elektronkama je *snimanje U_g—I_a-karakteristika*, odnosno *U_a—I_a-karakteristika*, a isto tako *mjerenje prohvata, strmine* i *unutarnjeg otpora elektronke*. Prohvat, strmina i unutarnji otpor mogu se dobiti iz karakteristika; bolje je, međutim, da se ove veličine izmjere mostom pomoću i z m j e n i č n e struje, pri čemu se namještanjem u položaj, u kojem se u slušalici ne čuje ton, dobivaju tačne vrijednosti. Dobrota vakuuma neke elektronke ovisi o veličini *faktora vakuuma* $k = I_g/I_a$; ovdje je I_g ionska rešetkina struja, koja ovisi o količini plina u elektronki, a I_a istosmjerna anodna struja. Općenito mora biti $k < 10^{-4}$.

Pitanja i odgovori

Pitanje: O kojim smo važnim mjerenjima na elektronkama govorili? *Odgovor:* O snimanju U_g—I_a-karakteristika, odnosno U_a—I_a-karakteristika, o mjerenju prohvata, strmine i unutarnjeg otpora, kao i o mjerenju faktora vakuuma elektronke. — *P.:* Kako se mogu tačno izmjeriti prohvat, strmina i unutarnji otpor? *O.:* Pomoću mosta s izmjeničnom strujom. — *P.:* Zašto su ove mjerne metode naročito prikladne za praksu? *O.:* Jer se mogu brzo i tačno izvesti i nije potrebno snimanje karakteristika elektronki. — *P.:* Na čemu se osniva ispitivanje vakuuma kod neke elektronke? *O.:* Na mjerenju faktora vakuuma, dakle odnosa između rešetkine struje i istosmjerne anodne struje.

Pitanja

60. Koliko voltmetara je potrebno kod mjerenja po metodi triju napona?

61. Zašto su kod određivanja prohvata, strmine i unutarnjeg otpora neke elektronke naročito tačne metode pomoću izmjenične struje?

62. Zbog čega u nekoj elektronki dolazi do ionske rešetkine struje, odnosno elektronske rešetkine struje?

Zadaci

45. Nacrtaj vektorsku sliku napona i otpora u vezi s metodom triju napona za slučaj mjerenja kapaciteta!

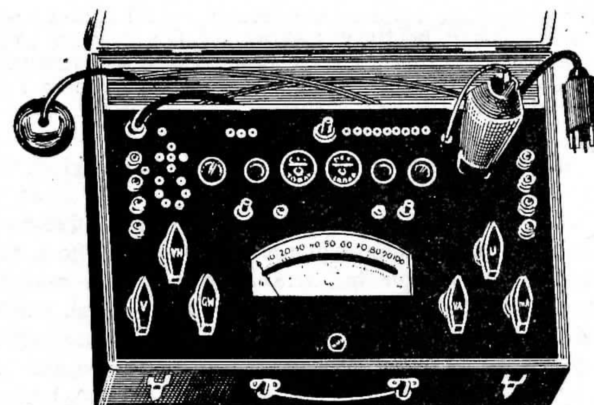
46. Kod mjerenja neke zavojnice po metodi triju napona dobiveni su uz frekvenciju od 50 Hz slijedeći naponi: ukupni napon 56 V_{ef}, izmjenični napon na zavojnici 50 V_{ef}, a na omskom serijskom otporu 12 V_{ef}; izmjenična struja imala je jakost 10 mA_{ef}. Koliki su: a) kut faznog pomaka, b) kut gubitaka, c) radni otpor i d) induktivitet zavojnice?

47. Istosmjerna anodna struja neke izlazne triode iznosi u pogonskom stanju 60 mA. Kolika smije biti ionska rešetkina struja, ako faktor vakuuma smije iznositi najviše 5×10^{-5}?

164. — Za praksu je često važno, da se bez dugotrajnog računanja može lako ustanoviti, da li je neka elektronka, koja je upotrijebljena u prijemniku ili pojačalu, u redu, ili o kojoj pogrešci se radi. Za takva ispitivanja i mjerenja postoji danas velik broj *uređaja za ispitivanje elektronki*. Elektronka se najprije podvrgava predispitivanju. Kod toga se u krug žarenja ukapča ampermetar s odgovarajućim područjima, i kontrolira, da li žarna struja ima propisanu vrijednost ili je možda došlo do prekida žarne niti. Iza toga slijedi ispitivanje na spoj između elektroda (na primjer doticanje uzbudne rešetke sa žarnom niti ili sa zaštitnom rešetkom itd.) i to mjerenjem anodne istosmjerne struje uz stanoviti prednapon (većinom 0 V) i stanoviti istosmjerni anodni napon. Kod *glavnog ispitivanja* mjere se jakosti pogonskih struja i pogonski napona; pri tome se može ustanoviti, da li ispitivana elektronka stvarno daje propisane vrijednosti ili je već »istrošena«. Radi uspoređivanja tvornice daju krivulje, odnosno pogonske propise za elektronke. Ispitivač elektronki mora biti takav, da se njime mogu također snimiti U_g—I_a-karakteristike, odnosno U_a—I_a-karakteristike; iz ovoga se tada mogu dobiti strmina, prohvat i unutarnji otpor (vidi odsjek 160). Na koncu se ispitivačem elektronki *ispituje vakuum*.

165. — Na sl. 166. vidimo ispitivač elektronki, kojim se mogu izvesti sva mjerenja na svim elektronkama za prijemnike. U gornjem dijelu ispitivača nalaze se različita podnožja za elektronke s nožicama, bez nožica i za čelične elektronke. Pomoću ugrađenog mrežnog transformatora mogu se dobiti razni žarni naponi od 2, 4, 6,3, 13, 16, 20, 24, 30, 55, 90 i 110 V (preklopnik *VN*). Instrument sa zakretnom zavojnicom (4000 Ω/V), koji se vidi u sredini, može se prekopčati na naponska područja od 1 000 V, 250 V, 50 V i 10 V (preklopnik *V*), i to za mjerenje istosmjernog i izmjeničnog napona (preklopnik *GW*). Istim instrumentom mogu se također mjeriti istosmjerne struje na područjima od 5 A, 1 A, 100 mA, 10 mA, 1 mA i 0,25 mA (preklopnik *mA*). Instrument se s mjerenja napona na mjerenja struje prebacuje preklopnikom *VA*. Preklopcem *U* prekapča se instrument kod snimanja karakteristika elektronki u sedam najvažnijih vodova ispitivane elektronke (mjerenja napona i struja); kod

ovih mjerenja upotrebljava se devet priključnica koje se vide gore u sredini. Pomoću njih se priključivanjem izvora struje i napona (na primjer anodna baterija ili mrežni ispravljač) može izvesti bilo kakav spoj s elektronkom. Osim toga, desno gore, pored utaknute pentode, vidimo sedmopolni utikač, koji omogućuje, da se pojedini stupnjevi prijemnika ili pojačala mogu ispitivati i mjeriti za vrijeme pogona, a



Sl. 166.

da pri tome nije potrebno priključivati vanjske izvore napona na ispitivač. Utikač se jednostavno utakne na mjesto elektronke u dotičnom stupnju prijemnika, dok se izvađena elektronka utakne u podnožje na desnoj strani ispitivača. Vakuum se ispituje uz negativni prednapon mjerenjem ionske rešetkine struje (vidi odsjek 163). Ispitivač na sl. 166. omogućuje nadalje mjerenje otpora u području od 2 Ω do 3 MΩ, i to pomoću ugrađene baterije za džepnu svjetiljku; skala instrumenta ima odgovarajuću omsku podjelu. Ovim ispitivačem mogu se mjeriti također kapaciteti u području od kojih 10 000 pF do 14 μF, a isto tako izolacija kondenzatora i izlazna snaga prijemnika i pojačala.

Ponavljanje

Za brzo mjerenje i ispitivanje elektronki, koje se upotrebljavaju u prijemnicima i pojačalima, postoje naročiti *ispitivači elektronki*. Predispitivanjem se utvrđuje, da li je kod dotične elektronke došlo do prekida žarne niti ili do spoja između elektroda. Iza toga slijedi glavno ispitivanje, kod kojeg se tačno mjere pogonske struje, pogonski naponi i faktor vakuuma. Dobar ispitivač elektronki omogućuje osim toga ne samo snimanje karakteristika svih elektronki, nego po mogućnosti i mjerenje otpora, kapaciteta, izolacija i izlazne snage prijemnika i pojačala.

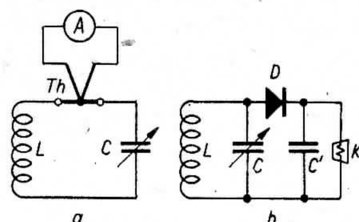
Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služe ispitivači elektronki? *Odgovor:* Pomoću njih se mogu brzo i jednostavno ispitati, odnosno izmjeriti elektronke, koje se upotrebljavaju u prijemnicima i pojačalima. — *P.*: Čime počinje ispitivanje elektronki? *O.*: Predispitivanjem na prekid žarne niti i na spoj među elektrodama. — *P.*: Kako se može zapaziti spoj među elektrodama? *O.*: Po nepropisnoj vrijednosti istosmjerne anodne struje. — *P.*: Kako se dalje nastavlja ispitivanje elektronke? *O.*: Glavnim ispitivanjem se utvrđuje, da li elektronka u pogonskom stanju ima ispravne napone i struje; također se ispituje vakuum elektronke. — *P.*: Kakvi se još zahtjevi stavljaju na dobar ispitivač elektronki? *O.*: Dobrim ispitivačem mogu se snimati karakteristike svih elektronki, a po mogućnosti također mjeriti otpori, kapaciteti, izolacije i izlazna snaga prijemnika i pojačala.

Najvažniji frekvenciometri i valomjeri

166. — U mjernoj radio-tehnici frekvencije i valne dužine većinom se mjere istim uređajima, naime *valomjerima*. Valomjer je u najjednostavnijem slučaju visokofrekventni titrajni krug, koji se sastoji od zavojnice i promjenljivog kondenzatora s malenim gubicima, i indikatora. Skala promjenljivog kondenzatora je baždarena u frekvencijama, odnosno valnim dužinama (vidi odsjek 170); promjenom zavojnice mogu se dobiti razna mjerna područja. Za mjerenje valnih dužina, odnosno frekvencija, iskorištava se r e z o n a n c i j a. Ako se valomjerom mjeri valna dužina titrajnog kruga nekog o d a š i l j a č a, tada valomjer radi kao *prijemnik*, a kod određivanja valne dužine titrajnog kruga nekog prijemnika kao *odašiljač*.

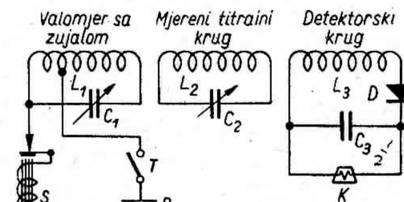
167. — Na sl. 167. vidimo shemu valomjera, koji radi kao prijemnik. L—C je titrajni krug bez gubitaka koji se može ugađati (sl. 167*a*), a T instrument s termopretvaračem (vidi odsjek 135) za mjerenje struja u titrajnom krugu. Ako visokofrekventni titraji imaju dovoljno veliku energiju, može se kao indikator upotrijebiti tinjalica ili malena sijalica (paralelno kondenzatoru C). Valomjerom s ovakvim spojem mjere se valne dužine i frekvencije *nemoduliranih* visokofrekventnih titraja. Kod visokofrekventnih titraja, koji su *tonski* modulirani, upotrebljava se spoj prema sl. 167*b*. Ovdje se tonski modulirani visokofrekventni titraji ispravljaju kristalnim detektorom D, tako da se tonska modulacija može čuti slušalicom K. C' je kondenzator kroz koji otječe visokofrekventna izmjenična struja nastala poslije demodulacije (vidi dio I, odsjeke 195 i 196). Kod mjerenja valne dužine, odnosno frekvencije nekog odašiljača, titrajni krug odašiljača veže se *slabo* sa zavojnicom L i



Sl. 167.

kondenzator C se okreće tako dugo, dok titrajni krug valomjera ne dođe u *rezonanciju* s titrajnim krugom odašiljača. Ovo je slučaj kada indikator valomjera pokazuje najveću jakost struje ili se u slušalici čuje najjači ton (usporedi na primjer rezonantne krivulje u dijelu I, sl. 75, 67 i 151). Tražena valna dužina ili frekvencija može se tada očitati na baždarenoj skali promjenljivog kondenzatora ili iz baždarene krivulje (vidi sl. 170).

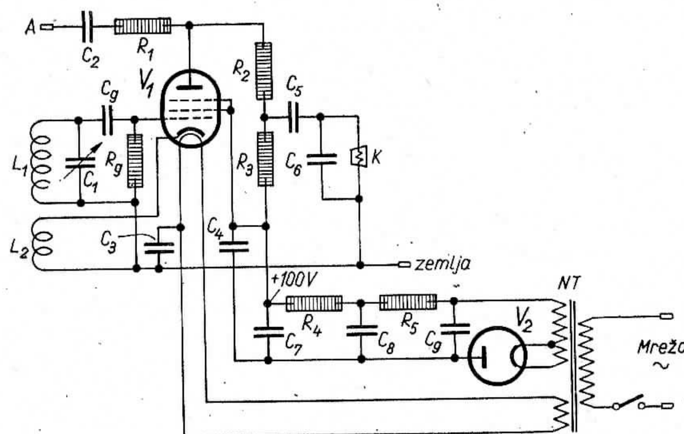
168. — Ako se mjeri valna dužina titrajnog kruga u kojemu nema titranja, kao što je na primjer titrajni krug prijemnika, tada se mora ovaj titrajni krug, a također i titrajni krug valomjera, potaknuti na titranje; ovo se u najjednostavnijem slučaju postiže pomoću z u j a l a. Na sl. 168. (lijevo) vidimo spoj *valomjera sa zujalom*, koji radi kao odašiljač. Zujalo S, baterija B i tipkalo T potiču titrajni krug L_1—C_1 na slabo prigušeno vlastito titranje (vidi dio I, odsjeke 125 i 126). Budući da zujalo i baterija prigušuju titrajni krug, preporuča se, da se u krug zujala spoji samo oko 1/3 do 1/2 zavojnice L_1. Kad se mjeri valna dužina, tada se induktivnom vezom titrajni krug L_2 — C_2 pobuđuje na titranje. Na drugoj strani je ovaj titrajni krug induktivno vezan s aperiodskim detektorskim krugom, koji se sastoji od zavojnice L_3, detektora D, premosnog kondenzatora C_3 i slušalice K. Promjenljivi kondenzator C_1 okreće se sada tako dugo, dok se u slušalici ne dobije najjači ton. U ovom slučaju je mjereni titrajni krug u rezonanciji s titrajnim krugom valomjera; valna dužina očitana na valomjeru istodobno je tražena valna dužina titrajnog kruga L_2—C_2. Istim uređajem mogu se mjeriti i *induktiviteti* i *kapaciteti*. Tada se zavojnica nepoznatog induktiviteta spoji s poznatim kapacitetom, odnosno nepoznati kapacitet sa zavojnicom poznatog induktiviteta, i načini titrajni krug kojemu se mjeri vlastita frekvencija, odnosno vlastita valna dužina; iz poznate Thomsonove jednadžbe $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L \cdot C})$ [vidi dio I, jedn. (54)], dobije se nepoznati induktivitet L, odnosno kapacitet C. Tačnost mjerenja pomoću valomjera sa zujalom nije zbog prigušivanja titraja naročito velika. Zbog toga se u modernoj mjernoj radio-tehnici za tačno mjerenje upotrebljava elektronski valomjer.



Sl. 168.

169. — Za gradnju *elektronskog valomjera*, odnosno *elektronskog frekvenciometra* može se u principu upotrijebiti svaki spoj za samouzbudni odašiljač. Treba međutim paziti na to, da se namještena valna dužina, odnosno frekvencija, ne promijeni, ako se promijeni opterećenje ili žarni, odnosno anodni napon. Na sl. 169. vidimo shemu *elektronskog valo-*

mjera s elektronskom vezom za priključak na mrežu izmjenične struje. Ovaj pouzdani oscilatorski spoj vrlo je sličan spoju u dijelu II, sl. 255. Reakcija je induktivna, pri čemu se reakciona zavojnica L_2 nalazi u k a t o d n o m k r u g u pentode V_1 (na primjer AF 7). Budući da ovdje zaporna rešetka nije kao obično spojena s katodom, nego sa zaštitnom rešetkom, to gotovo uopće nema povratnog djelovanja anode na titrajni



Sl. 169.

krug L_1—C_1, koji određuje frekvenciju. Zaštitna, odnosno zaporna rešetka, kao i vodovi za žarenje su preko kondenzatora $C_3 = C_4 = 0{,}1$ µF, s obzirom na visoku frekvenciju, uzemljeni. Radi proizvođenja automatskog prednapona nalazi se u krugu uzbudne rešetke kondenzator $C_g = 200$ pF i odvodni otpor $R_g = 0{,}2$ MΩ. Anodni otpor $R_3 = 20$ kΩ, koji je za odašiljač razmjerno velik, pomiče radnu tačku i uzrokuje i s p r a v l j a n j e visokofrekventnih titraja. Isto se tako ispravljaju i visokofrekventni titraji, koji se dovode i z v a n a, te se mjerenje valnih dužina drugih oscilatora može izvršiti slušanjem treptajnog tona u elektronskom valomjeru. Otpor $R_2 = 5$ kΩ sprečava prelaženje visokofrekventnih titraja u krug slušalice *K;* spojni je kondenzator $C_5 = 0{,}1$ µF, a premosni kondenzator $C_6 = 10\,000$ pF. Preko prigušnog otpora $R_1 = 5$ kΩ i kondenzatora $C_2 = 50$ pF dolaze visokofrekventni titraji na priključnicu *A* (brojčani podaci se odnose na kratkovalni valomjer). Zbog malene potrošnje struje mrežni dio je izveden kao jednotaktni ispravljač s ispravljačicom V_2 (na primjer RGN 354) i mrežnim transformatorom *NT*. Dvočlani otporni filtar sastoji se od otpora $R_4 = R_5 = 50$ kΩ i kondenzatora $C_7 = C_9 = 2$ µF, te $C_8 = 4$ µF. Da se izbjegnu nepoželjna isijavanja visokofrekventnih titraja i neželjeni vanjski utjecaji, cijeli valomjer je ugrađen u metalnu kutiju, koja je uzemljena. Kod mjerenja na odašiljačima (na primjer na odašiljačima kratkovalnih amatera) mjerena frekvencija titrajnog kruga

odašiljača superponira se frekvenciji valomjera; sada se valomjer ugađa tako da treptajni ton u slušalici bude najdublji i da se na koncu više ne čuje *(»treptajna nula«)*. Tražena frekvencija, odnosno valna dužina odašiljača, je tada jednaka je frekvenciji, odnosno valnoj dužini, koja se očita na promjenljivom kondenzatoru valomjera. Kod mjerenja na p r i j e m n i c i m a valomjer se s prijemnikom veže pomoću kratke žice, koja se stavlja u blizinu antenske priključnice, te djeluje kao antena, i tada se prijemnik namjesti na *»treptajnu nulu«*.

170. — *Baždarenje* valomjera, koji radi kao o d a š i l j a č, može se provesti pomoću radiodifuznih odašiljača, jer je njihova valna dužina vrlo tačna. Pri tome se prijemnik ugodi redom na više poznatih odašiljača, a u blizini prijemnika se namjesti valomjer i ugodi tako da se zujanje zujala čuje u prijemniku najjače, odnosno da se treptajni ton, koji nastaje superponiranjem primanih titraja s titrajima iz valomjera, u prijemniku više ne čuje. Za baždarenje i mjerenje naročito su prikladni takvi oscilatori, koji proizvode mnogo harmoničkih, dakle, prije svega također elektronski valomjer, opisan u odsjeku 169. Ako se radi s harmoničkima, ima se ta prednost, što se zavojnica valomjera u vrlo velikom području valnih dužina ne treba mijenjati. S jednom jedinom zavojnicom mogu se proizvesti harmonički sve do u kratkovalno područje; tako na primjer 10. harmonički osnovnog titraja od 1 500 kHz (200 m) iznosi već 15 MHz (20 m). Baždarenje valomjera, koji radi kao prijemnik, koji se, dakle, sam ne uzbuđuje (vidi sl. 167), najjednostavnije se provodi tako, da se slabo veže s »normalnim valomjerom«, koji radi kao odašiljač i koji je već baždaren. Kod svih ovih baždarenja baždari se ili skala promjenljivog kondenzatora, i to direktno u valnim dužinama, odnosno frekvencijama, ili se crta baždarna krivulja, koja prikazuje ovisnost valne dužine, odnosno frekvencije, o zakretnom kutu promjenljivog kondenzatora.

Ponavljanje

Za mjerenje frekvencija, odnosno valnih dužina, upotrebljavaju se *valomjeri*. Valomjer, koji radi kao prijemnik, sastoji se od ugodivog titrajnog kruga bez gubitaka i od indikatora; u slučaju rezonancije indikator pokazuje najjaču struju, odnosno preko njega se čuje najjači zvuk. Kod *valomjera sa zujalom,* koji djeluje kao odašiljač, zujalo potiče titrajni krug s malenim gubicima na slabo prigušeno vlastito titranje; ovi se titraji preko induktivne veze prenose na mjereni titrajni krug. S valomjerima mogu se također mjeriti induktiviteti i kapaciteti. Za tačna mjerenja frekvencija, odnosno valnih dužina, upotrebljavaju se *elektronski valomjeri*. Oni rade sa samouzbudnim oscilatorom, na primjer s elektronskom vezom. Kod mjerenja elektronskim valomjerom ugađa se na »treptajnu nulu«, to jest tako, da nestane treptajnog tona, koji nastaje superpozicijom titraja iz mjernog odašiljača ili titrajnog kruga prijemnika s visokofrekventnim titrajima, koje proizvodi valomjer. V a l o m j e r se baždari pomoću valnih dužina poznatih radiodifuznih odašiljača, ili tačnije, pomoću već baždarenih »normalnih valomjera«. Za baždarenje i mjerenje mogu se upotrijebiti također harmonički nekog oscilatora ili elektronskog valomjera s poznatom osnovnom frekvencijom; u ovom slučaju dovoljno je imati jednu jedinu zavojnicu za vrlo veliko područje valnih dužina.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je građen jednostavni valomjer? *Odgovor:* On se u principu sastoji od promjenljivog titrajnog kruga, koji ima male gubitke i kojemu je skala obrtnog kondenzatora baždarena u frekvencijama odnosno u valnim dužinama, i zatim još od indikatora. — *P.*: Čemu služi indikator? *O.*: Da se može utvrditi rezonancija između titrajnog kruga valomjera i mjerenog titrajnog kruga. — *P.*: Kakvi se indikatori upotrebljavaju u praksi? *O.*: Kod mjerenja nemoduliranih visokofrekventnih titraja upotrebljava se instrument s termopretvaračem, odnosno malena tinjalica ili žarulja, a kod mjerenja tonski moduliranih visokofrekventnih titraja detektorski krug s kristalnim detektorom i slušalicom. — *P.*: Kako radi valomjer sa zujalom? *O.*: Pomoću zujala potiče se titrajni krug, koji ima malene gubitke, na slabo prigušene titraje; ovaj titrajni krug induktivno je vezan s mjerenim titrajnim krugom. — *P.*: Kakvi se valomjeri upotrebljavaju za tačna mjerenja valnih dužina, odnosno frekvencija? *O.*: Elektronski valomjeri. — *P.*: Od čega se u principu sastoji elektronski valomjer? *O.*: To je zapravo samouzbudni odašiljač. — *P.*: Kako se njime vrši mjerenje frekvencija, odnosno valnih dužina? *O.*: Titraji u titrajnom krugu mjerenog odašiljača ili prijemnika superponiraju se titrajima valomjera; tada se valomjer ugađa dotle dok u njemu, odnosno u prijemniku, ne nestane treptajni ton (»treptajna nula«). — *P.*: Kako se može provesti baždarenje valomjera? *O.*: Pomoću valova radiodifuznih odašiljača ili pomoću već baždarenog normalnog valomjera. — *P.*: Kakvu prednost pruža primjena harmoničkih nekog elektronskog valomjera? *O.*: Dovoljno je imati samo jednu zavojnicu za vrlo veliko područje valnih dužina, tako da u ovom području prilikom mjerenja i baždarenja nije potrebno mijenjati zavojnicu.

Pitanja

63. O čemu ovisi područje valnih dužina, odnosno područje frekvencija kod nekog valomjera?
64. Što razumijevamo pod »treptajnom nulom«?
65. Koje smo vrste valomjera upoznali?

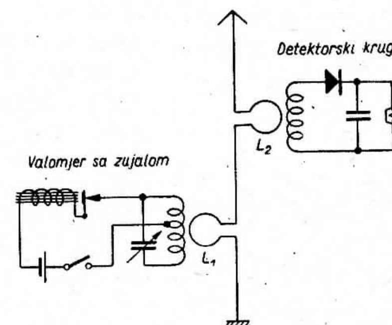
Zadaci

48. Od nekog kondenzatora i jedne zavojnice, koja ima induktivitet 0,24 mH, načini se titrajni krug. Mjerenjem pomoću valomjera dobijemo da je vlastita valna dužina titrajnog kruga 440 m. Koliki je kapacitet kondenzatora?

49. Kako se pomoću valomjera sa zujalom, prikazanog na sl. 168, može odrediti induktivitet neke zavojnice, ako je skala promjenljivog kondenzatora C_2 baždarena u kapacitetima, a induktivitet zavojnice L_2 je poznat?

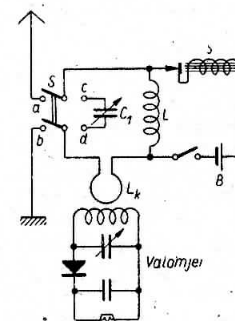
Mjerenja na antenama

171. — Iz dijela I, odsjeka 132. do 134. poznato nam je, da antena predstavlja otvoreni titrajni krug, u kojem kapacitet i induktivitet nije kao kod zatvorenog titrajnog kruga koncentriran na jednom mjestu, nego je p o r a z d i j e l j e n preko cijelog antenskog sistema. Osim toga se struja i napon ne raspodjeljuju ravnomjerno po anteni. Osim svoje osnovne frekvencije antena ima i nekoliko harmoničkih (vidi na primjer dio II, odsjek 408). Kad se govori o v l a s t i t o j v a l n o j d u ž i n i antene, tada se misli na valnu dužinu o s n o v n i h t i t r a j a. Svojstva neke antene uglavnom su određena vlastitom valnom dužinom λ_a, vlastitim kapacitetom C_a, vlastitim induktivitetom L_a i ukupnim otporom antene R_a. Kod *mjerenja vlastite valne dužine neke antene* (sl. 170), veže se antena preko petlje za vezu L_1 (»zavojnica« s jednim zavojem) s valomjerom sa zujalom. Time se antena potakne na vlastito titranje. Sada se promjenljivi kondenzator valomjera okreće tako dugo, dok se u aperiodskom detektorskom krugu, koji je preko petlje za vezu L_2 također s antenom slabo vezan, ne dobije najjači ton iz zujala. Ovo je slučaj kad je krug valomjera u rezonanciji s antenskim krugom. Valna dužina antene očita se tada na baždarenoj skali promjenljivog kondenzatora valomjera.



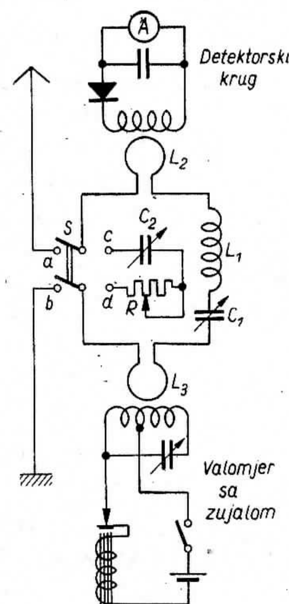
Sl. 170.

172. — *Vlastiti kapacitet neke antene* može se izmjeriti na slijedeći način (sl. 171): od »kondenzatora« antena-zemlja i zavojnice L načini se titrajni krug L—C_a (preklopac S stoji pri tome na kontaktima a—b), zatim se ovaj titrajni krug pomoću zujala S, koje se napaja iz baterije B, potakne na titranje. Pri tome se pomoću valomjera, koji je vezan slabo preko petlje za vezu L_k, mjeri vlastita valna dužina titrajnog kruga L—C_a. Nakon toga se preklopac S prebaci na kontakte c—d, tako da se antena i zemlja iskopčaju i umjesto njih se spoji baždareni promjenljivi kondenzator C_1. Sada se titrajni krug L—C_1 pomoću zujala pobudi i kondenzator C_1 okreće tako dugo dok se uz n e p r o m i j e n j e n položaj valomjera opet ne dobije rezonancija. U ovom slučaju se dobiva ista valna dužina kao i prije, te je kapacitet, koji se očita na skali kondenzatora C_1, traženi vlastiti kapacitet između antene i zemlje. Vlastiti induktivitet antene može se izračunati iz izmjerenog vlastitog kapaciteta C_a i vlastite valne dužine antene λ_a pomoću Thomsonove jednadžbe (vidi odsjek 168).



Sl. 171.

173. — *Mjerenje ukupnog otpora antene*, koji se, kao što je poznato, sastoji od otpora gubitaka (radnog otpora) i otpora isijavanja (vidi dio I, odsjek 152), može se izvršiti po m e t o d i z a m j e n e (sl. 172): na antenu se priključi titrajni krug L_1—C_1 (preklopac *S* stoji pri tome na kontaktima *a*—*b*); pomoću valomjera sa zujalom, ili elektronskog valomjera, pobudi se ovaj krug preko petlje za vezu L_3 na titranje i dovede u rezonanciju s krugom valomjera. Ovo je slučaj onda, ako ampermetar *A* u detektorskom krugu, koji je preko petlje za vezu L_2 slabo vezan, pokazuje najjaču struju. Zatim se prebacivanjem preklopca *S* na kontakte *c*—*d* umjesto antene spoji »umjetna antena«, naime serijski spoj promjenljivog kondenzatora C_2 i promjenljivog omskog otpora *R*, koji je bez kapaciteta i induktiviteta. Sada se najprije namjesti malena vrijednost otpora *R*, te se umjetna antena C_2—*R* pomoću kondenzatora C_2 dovede u rezonanciju, a da se pri tome ništa ne mijenja na titrajnom krugu L_1—C_1 i valomjeru. Na koncu se otpor *R* toliko poveća da ampermetar *A* pokaže istu struju kao i u prvom mjerenju. Ukopčani otpor jednak je ukupnom otporu antene. Napominjemo još da je ukupni otpor antene R_a ovisan o valnoj dužini, jer se u njemu nalazi i otpor isijavanja [(vidi dio I, odsjek 152. i jedn. (68)].



Sl. 172.

Ponavljanje

Kod *mjerenja vlastite valne dužine antene*, antena se preko petlje za vezu slabo veže s valomjerom sa zujalom i s aperiodskim detektorskim krugom; kod rezonancije kruga valomjera s antenskim krugom jakost tona, u detektorskom krugu je najveća. Valna dužina antene očita se na skali promjenljivog kondenzatora valomjera. Kod *mjerenja vlastitog kapaciteta antene* najprije se, od antene i jedne zavojnice načini titrajni krug, koji se zujalom pobudi na titranje, i pri tome se mjeri vlastita valna dužina ovog titrajnog kruga. Zatim se na mjesto antene ukopča baždareni promjenljivi kondenzator, i tako načinjeni titrajni krug zujalom pobudi na titranje, a pomoću promjenljivog kondenzatora opet ugodi na rezonanciju; namješteni kapacitet kondenzatora jednak je tada vlastitom kapacitetu antene. *Vlastiti induktivitet antene* dobije se pomoću Thomsonove jednadžbe iz izmjerenog vlastitog kapaciteta i vlastite valne dužine antene. Kod *mjerenja ukupnog otpora antene* najprije se antena priključi na titrajni krug koji se pobuđuje na titranje valomjerom sa zujalom, i s valomjerom se dovede u rezonanciju. Zatim se umjesto antene ukopča »umjetna antena« (serijski spoj promjenljivog kondenzatora i promjenljivog omskog otpora) i dovede u rezonanciju, a

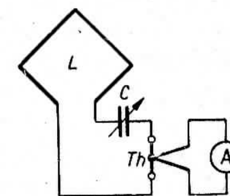
na koncu se omski otpor umjetne antene ugodi tako, da je rezonantna struja iste jakosti kao kod prvog mjerenja. Otpor, koji je sada ukopčan, jednak je ukupnom otporu antene.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakva su pomoćna sredstva potrebna kod mjerenja vlastite valne dužine antene? *Odgovor:* Valomjer sa zujalom, aperiodski detektorski krug i dvije petlje za vezu u anteni. — *P.*: Kakvo se ugađanje vrši kod ovog mjerenja? *O.*: Valomjer se dovodi u rezonanciju s antenskim krugom. — *P.*: Kako se utvrđuje rezonancija? *O.*: Pomoću najjačeg tona u detektorskom krugu. — *P.*: Koja se dva titrajna kruga međusobno poređuju kod mjerenja vlastitog kapaciteta antene? *O.*: Titrajni krug, koji čini vlastiti kapacitet antene, i jedna zavojnica, i titrajni krug načinjen od baždarenog promjenljivog kondenzatora i iste zavojnice; drugi titrajni krug se pri tome ugađa na valnu dužinu prvog. — *P.*: Kako se dobije vlastiti induktivitet antene? *O.*: Pomoću Thomsonove jednadžbe iz izmjerenog vlastitog kapaciteta i vlastite valne dužine antene. — *P.*: Na kojem se principu osniva mjerenje ukupnog otpora antene? *O.*: Antena se najprije spoji s običnim titrajnim krugom, a zatim ovaj titrajni krug s umjetnom antenom; u oba slučaja ugađa se na istu valnu dužinu. — *P.*: Od čega se sastoji umjetna antena? *O.*: Od serijskog spoja promjenljivog kondenzatora i promjenljivog omskog otpora. — *P.*: Je li ukupni otpor antene stalna veličina? *O.*: Nije; ovaj otpor ovisi o valnoj dužini.

Mjerenje jakosti električkih polja

174. — Mjerenje jakosti električkog polja, koje neki odašiljač proizvodi na mjestu primanja (*»mjerenje jakosti polja«*), važno je ne samo radi kontrole emisionog polja odašiljača, nego i radi prosuđivanja kvalitete prijema i utjecaja smetnji. Iz mjerenja jakosti polja mogu se dobiti važni podaci o širenju elektromagnetskih valova, kao na primjer o pojavama fejdinga (vidi dio I, odsjeke 157 i 160). Uređaji za mjerenje jakosti polja u principu su prijemnici, koji su baždareni ili se mogu baždariti, a sastoje se od prijemne antene i indikatora (s pojačalom ili bez njega). Kao prijemna antena većinom se upotrebljava *okvirna antena*, jer se njezina e f e k t i v n a v i s i n a h_w može lako izračunati iz njezinih dimenzija. Prema dijelu I, odsjek 179. imamo: $h = 2\pi \cdot w \cdot F/\lambda$ [m] (w = broj zavoja, F = površina okvira u [m^2], λ = valna dužina u [m]). Elektromagnetsko polje odašiljača inducira u okvirnoj anteni izmjenični napon, koji prema dijelu I, jedn. (75) iznosi: $\mathfrak{U} = \mathfrak{E} \cdot h_w = \mathfrak{E} \cdot 2\pi \cdot w \cdot F/\lambda$ [V]), gdje je $\mathfrak{E}$ jakost električkog polja u [V/m]. Za mjerenje jakosti električkog polja u b l i z i n i odašiljača ($\mathfrak{E}$ veće od kojih 30 mV/m) može se upotrijebiti vrlo jednostavan spoj koji vidimo na sl. 173. Ravnina okvirne antene okrene se u smjer odašiljača, titrajni krug *L*—*C* ugodi se na primarnu valnu dužinu pomoću kondenzatora *C*, i na instrumentu *A* s pretvaračem *T* očita se jakost rezonantne struje $\mathfrak{J}$. Ako



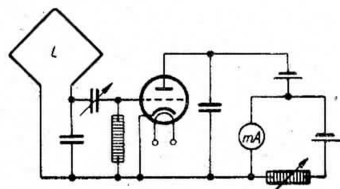
Sl. 173.

je R zbroj otpora gubitaka okvirne antene i žarne žice termopretvarača, tada inducirani izmjenični napon u anteni, u slučaju rezonancije, iznosi $\mathfrak{U} = \mathfrak{J} \cdot R$. Prema tome se iz gornje jednadžbe dobiva jakost električkog polja:

$$\mathfrak{E} = \frac{\mathfrak{J} \cdot R \cdot \lambda}{2\pi \cdot w \cdot F} \left[\frac{V}{m}\right] \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (30)$$

Otpor gubitaka R može se odrediti na primjer metodom triju napona (vidi odsjek 159).

175. — U većoj udaljenosti od odašiljača mjeri se izmjenični napon, koji se inducira u ugođenoj okvirnoj anteni, pomoću audionskog voltmetra (sl. 174). Ako osjetljivost ovog uređaja nije dovoljno velika, tada se mora dodati baždareno mjerno pojačalo. Mjerni uređaj prema sl. 174. b a ž d a r i se tako da se paralelno prijemnoj okvirnoj anteni postavi odašiljačka okvirna antena priključena na mjerni odašiljač (vidi odsjeke 126 i 128). Pri tome se mjeri jakost izmjenične struje $\mathfrak{J}_1$ u odašiljačkoj anteni. Uslijed induktivne veze inducira se u prijemnoj anteni napon s vršnom vrijednošću $\mathfrak{U}_2 = \mathfrak{J}_1 \cdot \omega \cdot M$, gdje je M izračunani ili izmjereni međuinduktivitet antena[16]). Uz različite napone mjernog odašiljača, dobivaju se različite struje $\mathfrak{J}_1$ u odašiljačkoj anteni i različiti naponi $\mathfrak{U}_2$ u prijemnoj anteni, tako da se instrument audionskog voltmetra može baždariti.



Sl. 174.

Ponavljanje

Za *mjerenje jakosti električkog polja*, koje neki odašiljač proizvodi na mjestu prijema, upotrebljavaju se uređaji sastavljeni od okvirne antene i indikatora. Ako se mjerenja vrše u blizini odašiljača, tada je dovoljno imati na raspolaganju prijemni ili mjerni uređaj sastavljen od okvirne antene s promjenljivim kondenzatorima i od instrumenta s termopretvaračem. U većoj udaljenosti od odašiljača mjeri se primljeni izmjenični napon pomoću elektronskog voltmetra (po potrebi uz dodavanje baždarenog mjernog pojačala). Baždarenje ovakvih mjernih uređaja vrši se pomoću odašiljačke okvirne antene, koja se priključi na mjerni odašiljač i postavi paralelno prijemnoj okvirnoj anteni.

[16]) Ova se jednadžba dobiva iz dijela I, odsjek 212. jedn. (80); vrijedi naime: $\mathfrak{U}_2 = -M \frac{di_1}{dt} = -M \frac{d(\mathfrak{J}_1 \cdot \sin \omega t)}{dt} = -M \cdot \mathfrak{J}_1 \omega \cos \omega t$ iz čega se za vršne vrijednosti dobiva: $\mathfrak{U}_2 = -M \cdot \mathfrak{J}_1 \cdot \omega \cdot 1$ ili $|\mathfrak{U}_2| = \mathfrak{J}_1 \cdot \omega \cdot M$.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se u principu može izmjeriti jakost električkog polja? *Odgovor:* Pomoću prijemnog uređaja, koji se sastoji od okvirne antene i indikatora. — *P.:* Zašto se kod ovoga upotrebljava okvirna antena? *O.:* Zato, što se efektivna visina okvirne antene može lako izračunati. — *P.:* Kako se najjednostavnije može izmjeriti jakost polja, ako je polje dovoljno jako? *O.:* Tako da se načini spoj od okvirne antene s promjenljivim kondenzatorom i instrumenta s termopretvaračem; antena se okrene u smjer prema odašiljaču, ugodi na primanu valnu dužinu, a zatim se izmjeri rezonantna struja u krugu okvirne antene. — *P.:* Pomoću kojih se veličina može tada izračunati jakost polja? *O.:* Pomoću rezonantne krivulje, ukupnog radnog otpora, valne dužine, broja zavoja i površine okvirne antene. — *P.:* Kako se mjeri jakost polja udaljenih odašiljača? *O.:* Izmjenični napon induciran u ugođenom krugu okvirne antene izmjeri se elektronskim voltmetrom, a po potrebi se još dodaje baždareno mjerno pojačalo. — *P.:* Koje je pomoćno sredstvo potrebno za baždarenje elektronskog voltmetra? *O.:* Odašiljačka okvirna antena, koja je priključena na mjerni odašiljač i induktivno vezana s prijemnom okvirnom antenom.

Pitanja

66. Koje su glavne veličine kojima su određena svojstva neke antene?

67. Što razumijevamo pod vlastitom valnom dužinom antene?

68. Kakav odnos postoji između napona induciranog u anteni, jakosti električkog polja i efektivne visine antene?

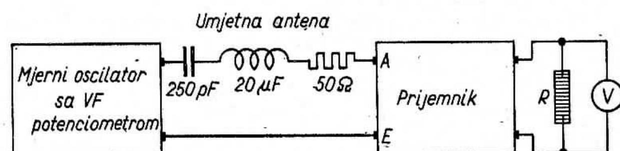
Zadaci

50. Kvadratična okvirna antena nekog uređaja za mjerenje jakosti polja ima dužinu stranice 1,5 m i 5 zavoja; kod mjerenja dobivena je jakost rezonantne struje od 2,8 mA. Kolika je jakost električkog polja na mjestu prijema, ako je ukupni radni otpor mjernog uređaja 10,2 oma, a primana frekvencija 800 kHz?

Mjerenja na radio-prijemnicima

176. — Jednoznačan sud o učinku nekog prijemnika moguć je samo na temelju tačnih *mjerenja*. Ova mjerenja, koja se prema odsjeku 126. vrše pomoću baždarenog *mjernog odašiljača,* odnose se uglavnom na osjetljivost, selektivnost, djelovanje regulacije fejdinga i na kvalitetu tona. Pod *osjetljivošću* nekog prijemnika razumijevamo onu *efektivnu vrijednost ulaznog visokofrekventnog napona, koji 30%-tno moduliran s 400 Hz proizvodi na izlazu prijemnika niskofrekventnu snagu od 50 mW.* Kod *mjerenja osjetljivosti* prijemnik se preko umjetne antene (nadomjesni spoj obične prijemne antene!), koja se sastoji od serijskog spoja kapaciteta od 250 pF, induktiviteta od 20 µH i čistog omskog otpora od 50 Ω, priključuje na m j e r n i o d a š i l j a č (sl. 175). Mjerni odašiljač mora biti vrlo dobro oklopljen i snabdjeven baždarenim visokofrekventnim djeliteljem napona (vidi odsjek 131. i sl. 129). Umjesto zvučnika stavlja se u prijemnik omski otpor R koji ima vrijednost jednaku impedanciji zvučnika kod frekvencije 400 Hz. Ako u izlazu prijemnika nema istosmjerne struje, može se otpor R priključiti direktno na izlazne

priključnice; inače se mora istosmjerna struja odijeliti pomoću električke skretnice (niskofrekventna prigušnica induktiviteta od barem 100 H i kondenzator kapaciteta kojih 8 μF). Paralelno otporu R priključuje se voltmetar V, na primjer instrument sa suhim ispravljačem ili elektronski voltmetar. Budući da je izmjenična snaga na omskom otporu $\mathfrak{N} = \mathfrak{U}_{ef}\mathfrak{J}_{ef} = \mathfrak{U}_{ef}^2/R$, dobivamo: $\mathfrak{U}_{ef} = \sqrt{\mathfrak{N} \cdot R}$; za $\mathfrak{N} = 50$ mW $= 0,050$ W imamo: $\mathfrak{U}_{ef} = \sqrt{0,050\ R}$. Ako je na primjer $R = 4\,000\ \Omega$, tada na otporu R moramo imati napon $\mathfrak{U}_{ef} = \sqrt{0,050 \cdot 4\,000} = \sqrt{200} = 14,1\ V_{ef}$. Prijemnik se sada namjesti na prijenosnu frekvenciju mjernog odašiljača, koji je



Sl. 175.

30%-tno moduliran s 400 Hz. Zatim se na visokofrekventnom djelitelju napona namjesti tako velik ulazni napon, da izlazni napon prijemnika ima propisanu vrijednost $\mathfrak{U}_{ef} = \sqrt{0,050\ R}$. Ako je za ovo potreban na primjer visokofrekventni napon od 0,2 mV, tada je osjetljivost jednaka 0,2, jer uz ulazni napon od 0,2 mV prijemnik daje upravo traženu snagu od 50 mW. Ova se mjerenja ponove kod različitih valnih dužina, jer je osjetljivost ovisna o dužini vala.

177. — *Selektivnost* nekog prijemnika je *odnos njegove osjetljivosti za prijenosnu frekvenciju, na koju je ugođen, prema osjetljivosti za frekvenciju, koja je od prijenosne frekvencije udaljena za 9 kHz, i to uz uvjet, da je prijenosni val moduliran 30%-tno sa 400 Hz.* Iznosi li na primjer selektivnost 500, tada to znači da je za neki odašiljač, koji je udaljen za 9 kHz, potreban 500 puta veći ulazni napon, nego za odašiljač, koji je u rezonanciji, pa da se u zvučniku dobije ista izmjenična snaga od 50 mW (usporedi dio I, odsjek 206). Selektivnost se može mjeriti na isti način, i isto tako jednostavno kao i osjetljivost, pomoću moduliranog mjernog odašiljača i baždarenog visokofrekventnog potenciometra; razumljivo, da kod ovih mjerenja regulacija fejdinga ne smije raditi. Najprije se prema postupku opisanom u odsjeku 176. nađe osjetljivost prijemnika za stanovitu prijenosnu frekvenciju; zatim se mjerni odašiljač pomakne za 9 kHz i s visokofrekventnim potenciometrom odašiljača ulazni napon se tako dugo povećava, dok se na izlazu prijemnika ne dobije propisani izlazni napon. Selektivnost je tada jednaka odnosu ovih dvaju ulaznih napona. I ova mjerenja treba izvršiti kod različitih valnih dužina, jer je selektivnost, isto tako kao i osjetljivost, ovisna o valnoj dužini.

178. — ***Za ispitivanje automatske regulacije fejdinga*** nekog prijemnika (vidi dio II, odsjeke 221 do 223), upotrebljava se također spoj sa

sl. 175. Preko visokofrekventnog potenciometra mjernog odašiljača dovode se prijemniku različiti ulazni naponi i pri tome se mjere izlazni naponi. Kod dobre regulacije fejdinga izlazni napon se iznad stanovitog minimalnog ulaznog napona ne smije više bitno mijenjati (vidi dio II, **sl. 171**).

Ponavljanje

Kod *mjerenja osjetljivosti* prijemnika mjerni se odašiljač s visokofrekventnim potenciometrom priključuje na prijemnik preko u m j e t n e a n t e n e, a zvučnik se nadomješta odgovarajućim omskim otporom. Zatim se prijemnik namjesti na prijenosni val mjernog odašiljača, koji je 30%-tno moduliran sa 400 Hz, a ugodi se toliki ulazni napon da prijemnik daje izlaznu snagu od 50 mW; dotični ulazni napon jednak je traženoj osjetljivosti. Da se *izmjeri selektivnost* mjerni odašiljač se razgodi za 9 kHz i ulazni napon povećava dotle, dok se od prijemnika opet ne dobije izlazna snaga od 50 mW. Selektivnost je tada jednaka odnosu naponą na visokofrekventnom potenciometru odašiljača kod ovih dviju prijenosnih frekvencija. *Ispitivanje automatske regulacije fejdinga* vrši se tako, da se prijemniku dovode različiti ulazni naponi i mjere izlazni naponi.

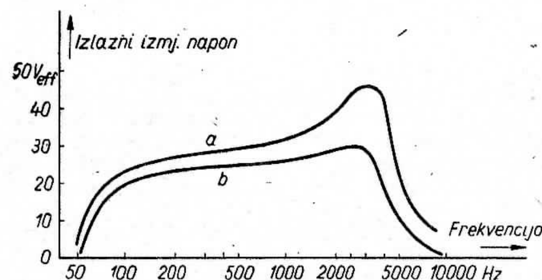
Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod osjetljivošću nekog prijemnika? *Odgovor:* To je efektivna vrijednost ulaznog visokofrekventnog napona koji kod 30%-tne modulacije s tonskom frekvencijom od 400 Hz proizvodi na izlazu prijemnika izmjeničnu snagu od 50 mW. — *P.:* Kako se može izmjeriti osjetljivost? *O.:* Prijemnik se preko umjetne antene priključi na mjerni odašiljač, koji je 30%-tno moduliran sa 400 Hz, a zvučnik se nadomjesti odgovarajućim omskim otporom; zatim se prijemnik ugodi na prijenossnu frekvenciju odašiljača i s visokofrekventnim potenciometrom namjesti toliki ulazni napon, da izlazni otpor dobije izmjeničnu snagu od 50 mW. — *P.* Od čega se sastoji umjetna antena? *O.:* Umjetna antena je serijski spoj kapaciteta od 250 pF, induktiviteta od 20 μH i omskog otpora od 50 oma. — *P.:* Što razumijevamo pod selektivnošću nekog prijemnika? *O.:* To je odnos osjetljivosti prijemnika za prijenosnu frkevenciju na koju je prijemnik ugođen, prema osjetljivosti za frekvenciju koja je od prijašnje udaljena za 9 kHz; pri tome se pretpostavlja da su prijenosni titraji modulirani 30%-tno sa 400 Hz. — *P.:* Kako se može izmjeriti selektivnost? *O.:* Na isti način kao i osjetljivost; najprije se izmjeri osjetljivost za stanovitu prijenosnu frekvenciju, a zatim za prijenosnu frekvenciju koja je od prijašnje udaljena za 9 kHz. — *P.:* Kako se ispituje automatska regulacija fejdinga? *O.:* Prijemniku se iz mjernog odašiljača dovode različiti ulazni naponi i pri tome se mjere izmjenični naponi na izlazu prijemnika. — *P.:* Što se traži od dobre regulacije fejdinga? *O.:* Iznad stanovitog minimalnog ulaznog napona ne smije izlazni napon bitno ovisiti o ulaznom naponu.

179. — Kod ispitivanja prijemnika naročito značenje ima *mjerenje* ***kvalitete tona;*** kvaliteta tona ovisi o veličini linearnih i nelinearnih izobličenja. ***Linearna izobličenja*** nastaju uslijed nejednolikog pojačavanja visokih i niskih frekvencija, dakle uslijed nejednolikog toka f r e k v e n t n e k r i v u l j e prijemnika (ovisnost izlaznog napona o frekvenciji; vidi dio II, odsjek 77). Do ovih izobličenja može na primjer doći zbog suviše strmih rezonantnih krivulja titrajnih krugova (vidi dio I, odsjeke

207. i 208), zbog suviše malene pojasne širine međufrekventnih filtara (vidi dio II, sl. 160) ili zbog rezonantnih izdizanja, koja uzrokuju prijenosni elementi niskofrekventnog pojačala (na primjer niskofrekventni transformatori ili prigušnice). Kod *nelinearnih izobličenja* radi se o stvaranju novih nadtonova, kojih u originalu uopće nije bilo, što dovodi do neugodnog kvarenja tona (vidi dio II, odsjek 108). Takva izobličenja nastaju prije svega u elementima sa zakrivljenom karakteristikom, dakle u demodulatoru, elektronkama koje pojačavaju (naročito izlaznim elektronkama!), u slabo dimenzioniranim željeznim jezgrama niskofrekventnih transformatora itd.

180. — Kod mjerenja *linearnih izobličenja* prijemnik se, kao i kod prije opisanih mjerenja, priključi preko umjetne antene na mjerni odašiljač, koji se modulira tonskim frekvencijama od kojih 50 do 6 000 Hz. Kod ovih mjerenja se frekvencija i stupanj modulacije visokofrekventnog ulaznog napona drže konstantnim, a ulazni napon se tako regulira, da prijemnik kod modulacione frekvencije od 400 Hz daje izlaznu snagu od 50 mW. Pri tome se mjere izlazni naponi koji se dobiju kod različitih modulacionih frekvencija. Iz ovih mjerenja dobivamo ovisnost izlaznog napona o frekvenciji (uz isti ulazni napon), dakle frekventnu krivulju cijelog prijemnika. Na sl. 176. prikazane su takve frekventne krivulje; krivulja *a* vrijedi bez djelovanja reakcije, a krivulja *b* uz primjenu reakcije. Iz ovog primjera možemo vidjeti, u kako velikoj mjeri ovisi reprodukcija visokih tonova o reakciji (vidi dio II, odsjek 179). Snimanje frekventne krivulje ponovi se kod različitih prijenosnih frekvencija (valnih dužina).



Sl. 176.

181. — Nelinearna izobličenja se, kao što je poznato, brojčano naznačuju *faktorom izobličenja*[17]). Faktor izobličenja je odnos kvadratnog korijena iz sume kvadrata vršnih vrijednosti harmoničkih prema vršnoj vrijednosti osnovnog vala (vidi dio II, odsjek 110). Kod *mjerenja nelinearnih izobličenja* zamijeni se voltmetar u izlaznom krugu s uređajem za mjerenje faktora izobličenja (distorziometrom) (vidi odsjek 191), a zatim se mjeri ovisnost faktora izobličenja o visokofrekventnom ulaznom naponu ili o niskofrekventnoj izlaznoj snazi, uz istu prijenosnu frekvenciju i isti stupanj modulacije. No možemo također mjeriti ovisnost faktora izobličenja o stupnju modulacije ili o modulacionoj frekvenciji. Općenito je dovoljno da se mjerenje nelinearnih izobličenja prijemnika izvrši kod frekvencije 550 kHz, koja je 70%-tno modulirana tonskim frekvencijama od 150 Hz i 1 000 Hz. Pri tome treba paziti na to, da mjerni odašiljač u mjernom području ima posve pravocrtnu karakteristiku modulacije, da je modulacioni izmjenični napon posve sinusoidan, i da je faktor izobličenja modulacije najviše 1 %; inače bi se kod mjerenja dobile znatne pogreške.

[17]) Faktor izobličenja ne smije se smatrati jednoznačnom mjerom za kvalitet tona (vidi dio II, odsjek 111).

Mjerni generatori tonskih frekvencija

182. — Dosadašnja naša izlaganja o mjernoj radio-tehnici odnosila su se gotovo isključivo na mjerenja visokofrekventnih procesa. No mi smo već kod mjerenja kvalitete tona prijemnika vidjeli od kakve je važnosti također i *mjerenje niskofrekventnih (tonfrekventnih) procesa.* U ovo se ne ubrajaju samo mjerenja na niskofrekventnim pojačalima (snimanje frekventnih krivulja, mjerenje faktora izobličenja itd.), nego i mjerenja na zvučnicima, mikrofonima, zvučnicama itd. Niskofrekventna mjerna tehnika vrlo je slična visokofrekventnoj mjernoj tehnici, te ćemo se njome kraće zabaviti. Za mjerenje tonfrekventnih procesa potrebno je imati *generator tonskih frekvencija,* dakle uređaj, koji proizvodi posve sinusoidne tonfrekventne titraje, poznate frekvencije i amplitude. Najjednostavniji tonfrekventni generator je *frekventna gramofonska ploča* u vezi s dobrom zvučnicom. Na ovakvim pločama obično su snimljene najvažnije frekvencije iz područja govora i muzike. Postoje frekventne ploče, koje u odsjecima imaju konstantne frekvencije, na primjer 30, 40, 60, 100, 150, 200 Hz, odnosno 200, 300, 400, 500, 750, 1 000 Hz, odnosno 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 500, 5 000 Hz, odnosno 5 000, 6 000, 7 000, 8 000, 9 000, 10 000 Hz. Na drugim frekventnim pločama nalazi se kontinuirano promjenljiv ton od 100 do 6 000 Hz, ili takav ton s promjenom od 60 do 6 000 Hz, ali moduliran s frekvencijom 50 Hz (»zavijajući ton«); pomoću ovakvih frekventnih ploča sa zavijajućim tonom vrše se istraživanja na zvučnicima, mikrofonima itd., jer zbog modulacije ne dolazi u prostoriji do stojnih valova i pojava jeke.

183. — Kod upotrebe frekventnih ploča valja pripaziti na to, da brzinska amplituda kod različitih frekvencija, odnosno frekventnih područja, nije uvijek ista; duboki tonovi se večinom snimaju s manjom brzinskom amplitudom (vidi odsjek 88). Zbog ovoga tonfrekventni napon iza zvučnice nije konstantan. Kako osim toga obične zvučnice nemaju pravocrtnu frekventnu karakteristiku, mora se prije početka pravog mjerenja snimiti frekventna krivulja koju daje frekventna ploča zajedno sa zvučnicom (na primjer pomoću elektronskog voltmetra). No ako upotrijebimo visokokvalitetnu zvučnicu, kao što je na primjer zvučnica TO 1001 opisana u odsjeku 92, tada se uz prikladnu frekventnu ploču dobiva ton-

frekventni generator, koji je u frekventnom području od 40 do 10 000 Hz praktički linearan. Kod crtanja frekventnih krivulja moraju se kod tonova snimljenih s manjom brzinskom amplitudom izmjerene vrijednosti uvišestručiti. Nadalje se kod reprodukcije frekventnih ploča mora upotrijebiti zvučnica koja radi sa što manjim pritiskom (vidi odsjek 90); inače se frekventne ploče vrlo brzo istroše, tako da znatno poraste šum igle i izobličenje tona, što onemogućuje mjerenje. Uz pritisak zvučnice od 30 do 40 g mogu se frekventne ploče reproducirati nekoliko stotina puta.

Ponavljanje

Kvaliteta tona nekog prijemnika ovisi o veličini linearnih i nelinearnih izobličenja. Kod *mjerenja linearnih izobličenja* dovode se prijemniku visokofrekventni ulazni naponi modulirani tonskim frekvencijama od 50 do 6 000 Hz, i pri tome se mjere izlazni naponi prijemnika (snimanje frekventne krivulje). Kod *mjerenja nelienarnih izobličenja* u izlazni krug prijemnika se umjesto voltmetra spaja distorziometar i određuje faktor izobličenja u ovisnosti o visokofrekventnom ulaznom naponu ili o niskofrekventnoj izlaznoj snazi, odnosno o stupnju modulacije ili o modulacionoj frekvenciji. *Za mjerenje niskofrekventnih (tonfrekventnih) procesa* potreban je *tonfrekventni generator*. Najjednostavniji generator tonskih frekvencija je ***frekventna gramofonska ploča*** u vezi s dobrom zvučnicom. Kod upotrebe frekventne ploče mora se paziti na različite brzinske amplitude snimljenih tonfrekventnih titraja; prije pravog mjerenja potrebno je najprije snimiti frekventnu krivulju ploče i zvučnice kao cjeline. Da se štede frekventne ploče, potrebno je da je pritisak zvučnice na ploču što manji.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čime se definira kvaliteta tona nekog prijemnika? *Odgovor:* Veličinom linearnih i nelinearnih izobličenja. — *P.:* Po čemu se poznaju linearna izobličenja? *O.:* Po nejednolikom toku frekventne krivulje cijelog prijemnika. — *P.:* Kako se očituju nelinearna izobličenja? *O.:* Pojavom nadtonova kojih u originalu nema. — *P.:* Kako se mjere linearna izobličenja? *O.:* Prijemnik se preko umjetne antene priključi na mjerni odašiljač moduliran tonskim frekvencijama od 50 do 6 000 Hz i pri tome se uz različite modulacione frekvencije mjeri izlazni napon. — *P.:* Kako se vrši mjerenje nelinearnih izobličenja? *O.:* U izlazni krug prijemnika spoji se distorziometar i mjeri se faktor izobličenja u ovisnosti o visokofrekventnom ulaznom naponu ili o niskofrekventnoj izlaznoj snazi, odnosno u ovisnosti o stupnju modulacije ili o modulacionoj frekvenciji. — *P.:* Kakvi se zahtjevi pri tome stavljaju na mjerni odašiljač? *O.:* Mjerni odašiljač mora imati pravocrtnu modulacionu karakteristiku i faktor izobličenja modulacije koji iznosi najviše 1%, a uz to modulacioni izmjenični napon mora biti posve sinusoidan. — *P.:* Što je tonfrekventni generator? *O.:* Uređaj, koji proizvodi posve sinusoidne tonfrekventne titraje poznate frekvencije i amplitude. — *P.:* Od čega se sastoji najjednostavniji tonfrekventni generator? *O.:* To je frekventna ploča u vezi s dobrom zvučnicom. — *P.:* Na što treba paziti kod upotrebe frekventnih ploča? *O.:* Tonske frekvencije su djelomično snimljene s različitim brzinskim amplitudama, te se dobivaju različiti izmjenični naponi. — *P.:* Kako se ovo u praksi uzima u obzir? *O.:* Tako, da se snimi frekventna krivulja ploče i zvučnice zajedno. — *P.:* Koje uvjete mora ispunjavati zvučnica? *O.:* Mora imati pravocrtnu frekventnu krivulju i što manji pritisak na ploču.

Pitanja

69. Kojim se najjednostavnijim mjerenjima može odrediti učinak prijemnika?
70. Što se vidi iz frekventne krivulje cijelog prijemnika?
71. Kako u prijemniku nastaju linearna i nelinearna izobličenja?

Zadaci

51. Kolika je impedancija umjetne antene kod frekvencije 800 kHz, ako kapacitet ima vrijednost 250 pF, induktivitet 20 μH, a omski otpor 50 Ω?

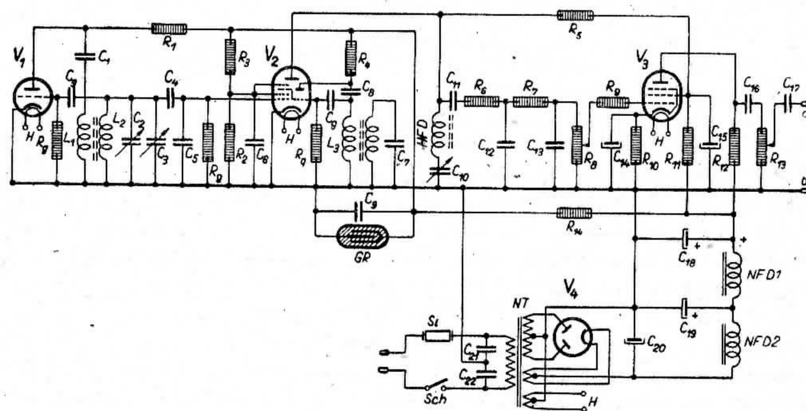
52. Je li selektivnost 1 000 dovoljno velika, da se bez međusobnih smetnji primaju dva odašiljača razmaknuta za 9 kHz, ako oni proizvode prijemne napone od 0,1 V_{ef} i 200 μV_{ef}?

53. Kod neke frekventne ploče brzinska amplituda kod frekvencija od 200 do 6 000 Hz iznosi 75 mm/s, a kod nižih frekvencija samo 19 mm/s. Kojim faktorom se moraju pomnožiti izmjenični naponi izmjereni na zvučnici kod frekvencija ispod 200 Hz?

184. — U mjernoj radio-tehnici najvažniji tonfrekventni generator je *treptajni tongenerator*. Rad ovog tongeneratora se osniva na multiplikativnom ili aditivnom miješanju dviju visokih frekvencija koje se razlikuju za iznos tonske frekvencije. Miješanjem ovih dviju visokih frekvencija nastaju *treptaji*, koji nakon toga, što se isfiltrira visokofrekventni dio titraja, daju titraje tonske frekvencije (vidi dio II, odsjeke 264. i 280). Jedna od visokih frekvencija drži se konstantnom, dok se druga visoka frekvencija mijenja u stanovitom frekventnom području pomoću promjenljivog kondenzatora. Ovako dobiveno tonfrekventno područje ima opseg od kojih 20 Hz do 20 kHz. Od dobrog treptajnog tongeneratora traži se velika konstantnost frekvencija (oko ± 1 Hz), nadalje faktor izobličenja koji smije iznositi najviše 0,5 do 1%, i izlazni napon od nekoliko desetaka volta, koji se može sniziti na nekoliko milivolta. Frekvencija visokofrekventnih titraja većinom iznosi oko 100 kHz. S ovom frekvencijom i promjenljivim kondenzatorom od 550 pF, kojemu je paralelno spojen čvrsti kondenzator s kapacitetom od kojih 1 000 pF, može se dobiti tonfrekventno područje od 0 do 20 kHz. Uz visoku frekvenciju od 100 kHz dobiva se ta prednost, što procentualna promjena frekvencija kod visokofrekventnih titraja[18]) uzrokuje znatno manje procentualne promjene tonske frekvencije, nego u slučaju kad bi visokofrekventni titraji bili iznad 100 kHz. Ako visokofrekventni titraji imaju suviše nisku frekvenciju, tada čini poteškoće filtriranje visokofrekventnog dijela treptaja, jer se istodobno mora spriječiti zapostavljanje područja gornjih tonskih frekvencija.

[18]) Takve promjene frekvencije nastaju uslijed promjena kapaciteta kao što je na primjer promjena kapaciteta rešetka—katoda i rešetka—anoda kod elektronke nastala zbog promjena pogonskih napona i zbog ugrijavanja i mehaničkih pomaka pojedinih dijelova titrajnih krugova itd.

185. — Između mnogih spojeva treptajnih tongeneratora na sl. 177. prikazan je jedan primjer. Oklopljeni oscilator s triodom V_1 (na primjer AC 2) i induktivnom reakcijom (preko reakcione zavojnice L_1 i kondenzatora C_1) proizvodi visokofrekventne titraje koji se mogu mijenjati. C_g je rešetkin kondenzator, a R_g odvodni otpor. Titrajni krug sa zavojnicom L_2 ugođen je kapacitivnim visokofrekventnim djeliteljem napona C_4 = = 1 000 do 2 000 pF i C_5 = 0,1 μF na osnovnu frekvenciju od kojih 100 kHz. Pomoću kondenzatora C_2 = 550 pF može se ova frekvencija za iznos od kojih 200 kHz razgoditi prema osnovnoj frekvenciji drugog oscilatora. C_3 je promjenljivi kondenzator malenog kapaciteta (»trimer«) ko-



Sl. 177.

jim se kod baždarenja namješta nul-tačka tongeneratora. Istosmjerni anodni napon za elektronku V_1 dovodi se preko otpora R_1. S visokofrekventnog djelitelja napona C_4—C_5 uzima se visokofrekventni napon, koji iznosi najviše 0,1 V, i dovodi prvoj uzbudnoj rešetki triode-heksode V_2 (na primjer ACH 1; vidi dio II, odsjek 289). R_g je opet odvodni otpor, R_2—R_3 djelitelj istosmjernog napona (oko 60 V) za obje zaštitne rešetke elektronke V_2; C_4 je uobičajeni premosni kondenzator za visokofrekventne titraje. Triodni dio elektronke V_2 radi kao drugi oscilator, i to kao i prvi oscilator s induktivnom reakcijom (preko reakcione zavojnice L_3 i kondenzatora C_8). Ovaj oscilator je pomoću zavojnice L_4 i kondenzatora C_7 = 1 000 do 2 000 pF č v r s t o ugođen na istu frekvenciju od kojih 100 kHz. Istosmjerni anodni napon dovodi se preko otpora R_4. Istosmjerni naponi za elektronke V_1 i V_2 (osim anodnog napona heksodnog dijela elektronke V_2) stabilizirani su tinjalicom *GR* (na primjer GR 150), koja je premoštena kondenzatorom C_9 = 0,5 μF. U elektronki V_2 vrši se m u l t i p l i k a t i v n o m i j e š a n j e visokofrekventnih titraja. Budući da na prvoj uzbudnoj rešetki elektronke V_2 vlada visokofrekventni napon, koji iznosi najviše 0,1 V, to se mogu dobiti tonske frekvencije

(treptaji), koje idu i do kojih 1 Hz. Tek ispod ove frekvencije jedno visokofrekventno titranje povlači drugo, te ne mogu nastati treptaji. Do povlačenja dolazi tako, što visokofrekventni titraji s prve uzbudne rešetke elektronke V_2 dospijevaju i na drugu uzbudnu rešetku iste elektronke. Osim ovoga dobiva se ta prednost, što su tonfrekventni titraji već od kojih 20 Hz potpuno bez izobličenja, to jest sasvim sinusoidni.

186. — Sada se još mora isfiltrirati visokofrekventni dio u treptajima, koji nastaju procesom miješanja. Najveći dio potječe od visokofrekventnih titraja, koje proizvodi drugi, čvrsti oscilator (triodni dio elektronke V_2). Ovi se titraji filtriraju pomoću čvrstog rezonantnog kruga (upojni titrajni krug!), koji se sastoji od visokofrekventne prigušnice *HFD* = 35 mH i promjenljivog kondenzatora C_{10} = 550 pF. Ostale visoke frekvencije, na primjer sumaciona frekvencija obiju oscilatorskih frekvencija i njezini nadvalovi, u dovoljnoj mjeri se potiskuju filtrom R_6 = 10 kΩ — C_{12} = 100 pF — R_7 = 100 kΩ — C_{13} = 200 pF. Kondenzator C_{11} ima kapacitet od kojih 0,25 μF. Filtar doduše slabi donekle i visoke tonske frekvencije; no ovo se zapaža tek kod tonskih frekvencija iznad 12 kHz, jer anodni otpor R_5 ima vrijednost samo oko 5 kΩ. Tonfrekventni napon oslobođen ostataka visoke frekvencije dovodi se preko potenciometra R_8 i otpora R_9 = 1 000 Ω (filtar za ultrakratke valove; vidi dio II, odsjek 261) uzbudnoj rešetki pentode V_3 (npr. *AL* 4). Ovdje se tonfrekventni napon pojačava na kojih 40 V_{ef}. Negativni prednapon elektronke V_3 proizvodi se na poznati način pomoću R_{10} — C_{14}, a napon zaštitne rešetke pomoću R_{11} — C_{15}. Otpor R_{14} = 10 kΩ snizuje istosmjerne napone za elektronke V_1 i V_2, dok elektronka V_3 preko anodnog otpora R_{12} = 5 kΩ dobiva puni istosmjerni napon. Anodni otpor elektronke V_3 namjerno je uzet kao omski, kako opet ovdje ne bi došlo do pogoršanja frekventne krivulje tongeneratora. Osim toga je u većini slučajeva omski izlazni otpor za mjerne svrhe vrlo poželjan, jer time fazni odnosi postaju naročito pregledni. Na koncu se tonfrekventni titraji preko kondenzatroa C_{16} = 0,5 μF, potenciometra R_{13} = 10 kΩ i kondenzatora C_{17} = 0,5 μF dovode izlaznim priključnicama *a* — *b*. Pomoću potenciometra R_{13} može se unutarnji otpor tongeneratora namjestiti na željenu vrijednost. M r e ž n i d i o je izveden kao dvotaktni ispravljač s ispravljačicom V_4 (na primjer AZ 1). C_{18} = 16 μF — *NFD 1* = 10 H — C_{19} = 16 μF — *NFD* 2 = 10 H je dvočlani filtar, C_{20} = 8 μF ulazni kondenzator, *NT* mrežni transformator, C_{21} = C_{22} = 0,01 μF visokofrekventni zapor, koji sprečava da mrežne smetnje ne prodru u tongenerator i obrnuto, da visokofrekventni titraji iz tongeneratora ne odlaze u rasvjetnu mrežu. U mrežnom dijelu imamo još osigurač *Si* i mrežnu sklopku *S*. Baždarenje tongeneratora vrši se pomoću frekventnih ploča, muzičkih viljuški, odnosno dobro ugođenog klavira.

Ponavljanje

Kod treptajnog tongeneratora tonska se frekvencija proizvodi miješanjem dviju visokih frekvencija, koje se razlikuju za dotičnu tonsku

frekvenciju. Jedna od visokih frekvencija iznosi oko 100 kHz, a druga se pomoću obrtnog kondenzatora tako mijenja, da se dobiva tonfrekventno područje, od kojih 20 do 20 000 Hz. Da se dobiju čisti tonfrekventni titraji, mora se iz t r e p t a j a, koji nastaju miješanjem visokih frekvencija, izlučiti pomoću rezonantnih krugova i filtara, visokofrekventni dio. Dobar treptajni tongenerator mora imati konstantnost frekvencije od kojih ± 1 Hz, faktor izobličenja smije iznositi najviše 0,5 do 1%, a izlazni napon mora iznositi nekoliko desetaka volta. Upoznali smo treptajni tongenerator kod kojeg se multiplikativno miješanje visokofrekventnih titraja vrši u triodi-heksodi. Triodni dio elektronke uključen je u oscilator koji proizvodi čvrstu visoku frekvenciju; promjenljivu visoku frekvenciju proizvodi posebni oscilator, koji također radi s triodom. Tonfrekventni naponi, koji se dobiju procesom miješanja, pojačavaju se u jednostepenom niskofrekventnom pojačalu na kojih 40 V_{ef}.

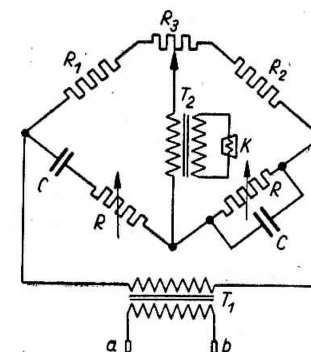
Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi treptajni tongenerator? *Odgovor:* Ovakav tongenerator proizvodi napone iz cijelog područja čujnih frekvencija. — *P.*: Kako radi treptajni tongenerator? *O.*: Dvije visoke frekvencije, koje se razlikuju za dotičnu tonsku frekvenciju, miješaju se; na ovaj način nastaju treptaji, koji nakon filtriranja visokofrekventnog dijela predstavljaju tonfrekventne titraje. — *P.*: Kako se mijenja frekvencija tonskih titraja? *O.*: Tako, da se pomoću promjenljivog kondenzatora mijenja jedna od visokih frekvencija. — *P.*: Kakvi se zahtjevi stavljaju na dobar treptajni tongenerator? *O.*: Konstantnost frekvencije od kojih ± 1 Hz, faktor izobličenja od kojih 0,5 do najviše 1% i izlazni napon od nekoliko desetaka volta, koji se može kontinuirano sniziti na nekoliko milivolta. — *P.*: Kolika je visoka frekvencija u treptajnom tongeneratoru? *O.*: Oko 100 kHz. — *P.*: Koje stupnjeve ima opisani treptajni tongenerator? *O.*: Ima oscilator, koji proizvodi promjenljivu visoku frekvenciju, stupanj za miješanje s triodom-heksodom, u kojem triodni dio radi kao oscilator koji proizvodi čvrstu visoku frekvenciju, zatim niskofrekventni stupanj i dvotaktni ispravljač. — *P.*: Na koji način se kod ovog tongeneratora isfiltrira visokofrekventni dio treptaja? *O.*: Pomoću rezonantnog kruga sastavljenog od visokofrekventne prigušnice i njoj u seriju spojenog promjenljivog kondenzatora, i pomoću dvočlanog filtra, koji se sastoji od omskih uzdužnih otpora i poprečnih kondenzatora. — *P.*: Kako se regulira izlazni napon? *O.*: Potenciometrom, koji se nalazi u krugu uzbudne rešetke niskofrekventnog pojačala. — *P.*: Čemu služi potenciometar na izlaznim priključnicama opisanog tongeneratora? *O.*: Pomoću njega se može namjestiti unutarnji otpor tongeneratora, dakle može se otpor tongeneratora prilagoditi otporu mjerenog objekta.

Mjerenja tonskih frekvencija

187. — *O mjerenju niskofrekventnih napona i struja* već smo opširno govorili; znamo, da se za ovo upotrebljavaju *termički instrumenti* (vidi odsjek 133), *instrumenti s termopretvaračem* (vidi odsjeke 134 do 136), *instrumenti sa suhim ispravljačem* (vidi odsjeke 137 i 138), *elektrostatski voltmetar* (vidi odsjeke 139 i 140) i *elektronski voltmetri* (vidi odsjeke 142 do 149). Instrumenti sa suhim ispravljačem se zbog svoje jednostavne i općenite primjene naročito rado upotrebljavaju. Za *mjerenje tonskih frekvencija*, dakle frekvencija čujnog područja, mogu se upotrijebiti, kao i u visokofrekventnoj mjernoj tehnici, ugođeni i baždareni

titrajni krugovi (vidi odsjek 166). Ton, koji neki tongenerator proizvodi u slušalici, može se također direktno akustički uspoređivati s baždarenim izvorom zvuka (na primjer s muzičkom viljuškom, zviždaljkom, dobro ugođenim muzičkim instrumentima). Za t a č n a tonfrekventna mjerenja dolaze, međutim, najviše u obzir *spojevi s mostom* kao što je na primjer onaj na sl. 178. Mjereni tonfrekventni naponi dolaze na priključnice *a*—*b*, a odavle se preko niskofrekventnog transformatora dovode mostu. Gornja grana mosta sastoji je od čistih omskih otpora R_1 i R_2 i pri tome se uzima $R_1 = 2R_2$. S promjenljivim omskim otporom R_3 može se odnos $R_1 : R_2$ u uskim granicama mijenjati. U donjoj grani mosta nalazi se jedan serijski spoj i jedan paralelni spoj kapaciteta *C* i čistog omskog promjenljivog otpora *R*. U mostu se nalazi slušalica *K*, koja je priključena preko niskofrekventnog transformatora. Kod mjerenja tonske frekvencije se otpori *R*, koji su jednaki i nalaze se na z a j e d n i č k o j osovini, mijenjaju tako dugo, dok ton u slušalici sasvim ili skoro sasvim ne nestane; mijenjanjem otpora R_3 ovo se može postići prilično tačno. Prema jedn. (26) u ovom slučaju vrijedi: $R_1/R_2 = \mathfrak{R}_r/\mathfrak{R}_p$, gdje je $\mathfrak{R}_r$, odnosno $\mathfrak{R}_p$ impedancija serijskog, odnosno paralelnog spoja od *C* i *R*. Prema dij. I, jedn. (27) i (58) (ovdje je $L = \infty$, dakle $1/\omega L = 0$!) iz ovoga dobivamo: $R_1/R_2 = 2 = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2} \cdot \sqrt{1/R^2 + (\omega C)^2}$ ili $2 = \sqrt{1 + 1/(R^2\omega^2C^2) + R^2\omega^2C^2 + 1}$. Nakon kvadriranja izlazi: $4 = 2 + [(R^2\omega^2C^2)^2 + 1]/(R^2\omega^2C^2)$, i dalje: $(R^2\omega^2C^2)^2 - 2R^2\omega^2C^2 = -1$. Ova kvadratična jednadžba očito ima rješenje: $R^2\omega^2C^2 = 1$, to jest: $R\omega C = 1$. Za ovo možemo pisati također $R = 1/(\omega C)$. U slušalici *K* nema dakle tona, ako je otpor *R* jednak praznom otporu $1/(\omega C)$ kapaciteta *C*. Kako je $\omega = 2\pi f$, iz ovoga dobivamo mjerenu tonsku frekvenciju:



Sl. 178.

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \text{ [Hz]} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (31)$$

Tonska frekvencija *f* dobiva se u [Hz], ako je otpor *R* uvršten u [Ω], a kapacitet *C* u [F]. Opisana metoda pomoću mosta naročito je prikladna zato, što nisu potrebni baždareni induktiviteti, nego samo baždareni kapaciteti i omski otpori, što znatno pojednostavljuje gradnju.

Ponavljanje

Za m j e r e n j e n i s k o f r e k v e n t n i h n a p o n a i s t r u j a upotrebljavaju se isti instrumenti kao i u visokofrekventnoj mjer-

noj tehnici. Za *mjerenje tonskih frekvencija* mogu se upotrijebiti ugođeni i baždareni titrajni krugovi i baždareni izvori zvuka. Tačna tonfrekventna mjerenja vrše se međutim pomoću s p o j e v a s m o s t o m. U jednoj grani mosta nalaze se na primjer dva omska otpora, a u drugoj grani jedan serijski i jedan paralelni spoj kapaciteta i promjenljivog omskog otpora. U mostu nema tona, ako je omski otpor u serijskom, odnosno paralelnom spoju jednak praznom otporu kapaciteta. Iz ovoga uvjeta može se izračunati tražena tonska frekvencija.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se mjere niskofrekventni naponi i struje? *Odgovor*: Istim instrumentima kao i u visokofrekventnoj mjernoj tehnici? — *P.*: Koja su najjednostavnija sredstva za mjerenje tonskih frekvencija? *O.*: Ugođeni i baždareni titrajni krugovi ili baždareni izvori zvuka. — *P.*: Kako se mogu vršiti tačna tonfrekventna mjerenja? *O.*: Pomoću spoja s mostom. — *P.*: Kakav smo spoj s mostom upoznali? *O.*: Spoj, u kojem je jedna grana bila sastavljena od dva omska otpora, a u drugoj grani se nalazio jedan serijski spoj i jedan paralelni spoj promjenljivog omskog otpora i kapaciteta. — *P.*: Kako se vrši ugađanje ovog mosta? *O.*: Istodobnim mijenjanjem obaju promjenljivih omskih otpora. — *P.*: Koji je uvjet ispunjen u slučaju kad nema tona? *O.*: Vrijednost otpora, namještena na promjenljivim otporima, jednaka je praznom otporu kapaciteta, koji je spojen u seriju, odnosno paralelno.

Pitanja

72. Koji je od tonfrekventnih generatora najvažniji u mjernoj radio-tehnici?

73. Koji se instrumenti u tonfrekventnoj mjernoj tehnici najviše upotrebljavaju za mjerenje napona i struja?

74. O kojim smo mjernim metodama za mjerenje tonskih frekvencija govorili?

Zadaci

54. Neka je f_h najviša tonska frekvencija, koja se u nekom treptajnom tongeneratoru dobiva miješanjem promjenljive visoke frekvencije f_1 i čvrste visoke frekvencije f_2; kapaciteti, koji su spojeni paralelno zavojnicama titrajnih krugova, neka su poznati i jednaki C_1, odnosno C_2. Koliki mora biti induktivitet svake od zavojnica, koje se nalaze u titrajnim krugovima i koje su jednake?

55. Koliko regulaciono područje mora imati svaki otpor R u tonfrekventnom mostu prikazanom na sl. 178, ako svaki kondenzator C ima kapacitet od 0,05 μF, a tonfrekventno područje, koje treba obuhvatiti, nalazi se između 20 Hz i 20 kHz?

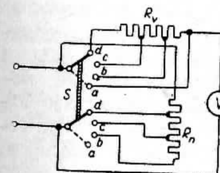
Mjerenja na niskofrekventnim pojačalima

188. — Kvaliteta nekog niskofrekventnog pojačala može se odrediti mjerenjem pojačanja napona, neizobličene tonfrekventne snage i linearnih i nelinearnih izobličenja. Kao generator tonskih frekvencija upotrebljava se kod ovih mjerenja frekventna ploča (vidi odsjek 182), ili još bolje treptajni tongenerator (vidi odsjek 184). Najprije ćemo se upoznati s *mjerenjem naponskog pojačanja* niskofrekventnog pojačala. Pod naponskim pojačanjem V_u razumijevamo odnos izlaznog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$ prema ulaznom izmjeničnom naponu $\mathfrak{U}_e$ pojačala. Ulazne priključnice *a*—*b* mjerenog pojačala (sl. 179) priključuje se na poznati napon $\mathfrak{U}_e$ različitih frekvencija, a na izlaznim priključnicama *c*—*d* mjeri se pomoću elektronskog voltmetra *V* izlazni napon $\mathfrak{U}_a$; pojačanje napona je tada $V_u = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_e$. Ako na raspolaganju ne stoji b a ž d a r e n i generator tonskih frekvencija, kao što je na primjer frekventna ploča uz zvučnicu tada se tonfrekventni napon, koji se dobiva iz ovakvog generatora, mora najprije pomoću elektronskog voltmetra izmjeriti. Budući da se radi o odnosu $\mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_e$, to se na ovaj način izjednače[19] nejednolikosti ulaznog napona $\mathfrak{U}_e$; ako je naime $\mathfrak{U}_e$ manji, tada je i $\mathfrak{U}_a$ manji, te pojačanje napona V_u zadržava istu vrijednost. Pomoću ovako dobivene vrijednosti za V_u može se na poznati način nacrtati krivulja, koja prikazuje ovisnost pojačanja o frekvenciji *f*. Iz ovako dobivene *frekventne krivulje* niskofrekventnog pojačala može se vidjeti veličina *linearnih izobličenja* (vidi odsjek 179. i 180). Kod ovakvih mjerenja treba još paziti na to, da se radi s punim uzbuđenjem izlaznog stupnja, da bi se moglo vidjeti kolika je snaga pojačala. Pri tome ulazni napon mora biti dovoljno velik, a izlazni transformator pojačala mora se umjesto zvučnikom opteretiti čistim omskim otporom *R*. Otpor *R* mora biti jednak impedanciji zvučnika (vidi dio II odsjek 127). Nadalje treba paziti na to, da otpor bez oštećenja može izdržati izlaznu snagu pojačala.

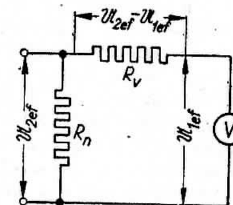


Sl. 179.

189. — Kod *mjerenja tonfrekventne snage* (izlazne snage) niskofrekventnog pojačala nadomjesti se zvučnik, odnosno izlazni transformator, *izlaznim vatmetrom*. Unutarnji otpor vatmetra mora se slagati s najpovoljnijim prilagodnim otporom izlaznog stupnja pojačala. Zato se izlazni vatmetri obično grade s unutarnjim otporima od 4 000 Ω, 7 500 Ω ili 15 000 Ω. Izlazni vatmetar mjeri efektivni izmjenični napon $\mathfrak{U}_{ef}$ na unutarnjem otporu R_i vatmetra. Iz ovoga se lako može izračunati tonfrekventna snaga pojačala: $\mathfrak{N} = \mathfrak{U}_{ef}^2/R_i$ (vidi dio II, odsjek 104).



Sl. 180.



Sl. 181.

[19]) Ovo je naročito važno kod upotrebe frekventne ploče, jer su kod nje često tonfrekventni titraji kod različitih frekvencija urezani s različitim brzinskim amplitudama (vidi odsjek 183).

Na sl. 180. vidimo shemu izlaznog vatmetra s različitim mjernim područjima. V je instrument sa zakretnom zavojnicom i suhim ispravljačem, kojim se može mjeriti u tonfrekventnom području od kojih 30 do 10 000 Hz. Pomoću preklopnika S mogu se ukopčati različita mjerna područja, a d a s e p r i t o m e u n u t a r n j i o t p o r v a t m e t r a n e p r o m i j e n i. Ako preklopnik S stoji na kontaktima a — a, tada je ukopčano n a j n i ž e mjerno područje. Izmjenični napon nalazi se tada d i r e k t n o na voltmetru V. Kod slijedećeg područja stoji preklopnik na kontaktima b — b; u ovom položaju preklopnika jedan dio p r e d o t p o r a R_v spojen je u seriju, a cijeli p o r e d n i otpor R_n paralelno voltmetru V. Da se kod prekapčanja s područja $\mathfrak{U}_{1ef}$ na područje $\mathfrak{U}_{2ef}$ unutarnji otpor R_i ne promijeni, mora se R_v i R_n ispravno dimenzionirati. Prema sl. 181. na temelju Ohmovog zakona vrijedi: $R_v/R_i = \mathfrak{U}_{vef}/\mathfrak{U}_{ief} = (\mathfrak{U}_{2ef} - \mathfrak{U}_{1ef})/\mathfrak{U}_{1ef}$, to jest: $R_v = R_i\,(\mathfrak{U}_{2ef} - \mathfrak{U}_{1ef})/\mathfrak{U}_{1ef}$. Paralelni spoj otpora R_n i $R_v + R_i$ mora biti jednak unutarnjem otporu R_i vatmetra, dakle $[R_n\,(R_v + R_i)]/(R_n + R_v + R_i) = R_i$. Iz ovoga slijedi $R_n = R_i\,(R_v + R_i)/R_v = (1 + R_i/R_v) \cdot R_i$. Kod položaja preklopca c—c ukopčano je još više mjerno područje $\mathfrak{U}_{3ef}$, dok se u položaju d — d dobiva najviše mjerno područje $\mathfrak{U}_{4ef}$. U ovom posljednjem slučaju je c i j e l i predotpor R_v spojen u seriju i jedan dio porednog otpora R_n paralelno voltmetru V. Unutarnji otpor vatmetra može se paralelnim spajanjem daljnjih porednih otpora po volji s m a n j i t i; na taj način se može unutarnji otpor vatmetra prilagoditi dotičnom najpovoljnijem prilagodnom otporu mjerenog izlaznog stupnja pojačala. Kod većine izlaznih vatmetara može se još ukopčati zaporni kondenzator kapaciteta od kojih 0,5 μF, koji kod mjerenja izmjeničnih napona na mrežnim ispravljačima ili na izlaznim stupnjevima bez izlaznog transformatora odjeljuje istosmjerni napon.

Ponavljanje

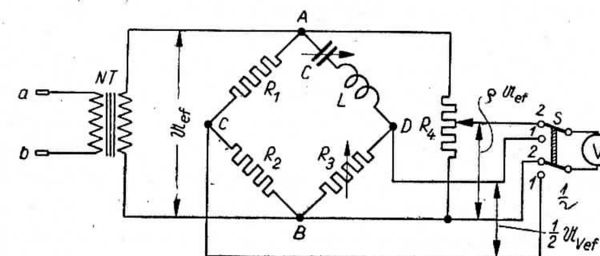
Kod *mjerenja naponskog pojačanja* dovode se niskofrekventnom pojačalu poznati ulazni naponi $\mathfrak{U}_e$ različitih frekvencija i pri tome se pomoću elektronskog voltmetra mjere izlazni naponi $\mathfrak{U}_a$; pojačanje napona je tada: $V_u = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_e$. Na ovaj način se može istodobno dobiti i f r e k v e n t n a k r i v u l j a pojačala. Kod ovih mjerenja se izlaz pojačala opterećuje čistim omskim otporom, koji je jednak impedanciji odgovarajućeg zvučnika. *Mjerenje tonfrekventne snage* pojačala vrši se izlaznim vatmetrom, kod kojeg je unutarnji otpor jednak najpovoljnijem prilagodnom otporu izlaznog stupnja. *Izlazni vatmetar* mora na svim mjernim područjima imati isti unutarnji otpor; ovo se postiže pomoću prikladno odabranih predotpora i porednih otpora.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod naponskim pojačanjem nekog niskofrekventnog pojačala? *Odgovor:* To je odnos izlaznog izmjeničnog napona prema ulaznom izmjeničnom naponu. — *P.*: Kako se mjeri naponsko pojačanje? *O.*: Na ulaz pojačala dovode se poznati izmjenični naponi različitih frekvencija i pri tome se pomoću elektronskog voltmetra mjere izlazni naponi. — *P.*: Kako se iz ovoga dobiva frekventna krivulja pojačala? *O.*: Crtanjem ovisnosti naponskog pojačanja o frekvenciji. — *P.*:

Na što treba paziti kod ovih mjerenja? *O.*: Čisti omski otpor, koji u izlaznom krugu pojačala nadomješta zvučnik, mora imati istu vrijednost kao i impedancija zvučnika; nadalje mjerenje treba provoditi uz puno uzbuđenje izlaznog stupnja. — *P.*: Kako se može izmjeriti tonfrekventna snaga niskofrekventnog pojačala? *O.*: Pomoću izlaznog vatmetra. — *P.*: Kako u principu radi izlazni vatmetar? *O.*: Kao voltmetar za izmjenični napon. — *P.*: Koliki mora biti unutarnji otpor izlaznog vatmetra? *O.*: Isto tako velik kao i najpovoljniji prilagodni otpor izlaznog stupnja pojačala. — *P.*: Kakvi se zahtjevi stavljaju na izlazni vatmetar, koji ima različita mjerna područja? *O.*: Kod prekapčanja na druga područja, unutarnji otpor se ne smije mijenjati. — *P.*: Kako se ovo može postići? *O.*: Pomoću prikladnih predotpora i porednih otpora.

190. — *Mjerenjem faktora izobličenja* (faktora distorzije) određuje se veličina n e l i n e a r n i h i z o b l i č e n j a nekog pojačala ili prijemnika (vidi odsjek 181). Prema dijelu II, odsjek 110. i jedn. (54) faktor



Sl. 182.

izobličenja jednak je odnosu kvadratnog korijena iz sume kvadrata tjemenih vrijednosti harmoničkih prema tjemenoj vrijednosti osnovnog vala nekog izobličenog titraja. Za izmjenične napone dakle vrijedi: $k = \sqrt{\mathfrak{U}_2^2 + \mathfrak{U}_3^2 + \mathfrak{U}_4^2 + \ldots}/\mathfrak{U}_1$, gdje je $\mathfrak{U}_1$ tjemena vrijednost napona osnovnog vala, a $\mathfrak{U}_2$, $\mathfrak{U}_3$, $\mathfrak{U}_4 \ldots$ su tjemene vrijednosti napona harmoničkih. Umjesto tjemenih vrijednosti mogu se ovdje uvrstiti i e f e k t i v n e v r i j e d n o s t i pojedinih izmjeničnih napona. Mjerenje faktora izobličenja može se u praksi znatno pojednostavniti, ako se ne mjeri efektivni izmjenični napon $\mathfrak{U}_{1ef}$ osnovnog vala, nego efektivna vrijednost $\sqrt{\mathfrak{U}_{1ef}^2 + \mathfrak{U}_{2ef}^2 + \mathfrak{U}_{3ef}^2 + \ldots}$ smjese osnovnog vala i harmoničkih; tada vrijedi:

$$k \approx \frac{\sqrt{\mathfrak{U}_{2ef}^2 + \mathfrak{U}_{3ef}^2 + \mathfrak{U}_{4ef}^2 + \ldots}}{\sqrt{\mathfrak{U}_{1ef}^2 + \mathfrak{U}_{2ef}^2 + \mathfrak{U}_{3ef}^2 + \ldots}} =$$

$$= \frac{\text{efektivna vrijednost izmjeničnih napona harmoničkih}}{\text{efekt. vrijed. izmjeničnih napona smjese osnovnog vala i harmoničkih}}$$

Budući da je općenito $\sqrt{\mathfrak{U}_{1ef}^2 + \mathfrak{U}_{2ef}^2 + \mathfrak{U}_{3ef}^2 + \ldots} \approx \mathfrak{U}_{1ef}$, ovo pojednostavnjenje većinom ne unosi u mjerenje suviše veliku pogrešku.

191. — Na sl. 182. vidimo shemu *distorziometra* koji se mnogo upotrebljava. Donju granu mosta čine dva čista omska otpora R_2 i R_3, a gornju granu čisti omski otpor R_1 i rezonantni krug koji se sastoji od promjenljivog kapaciteta C i njemu u seriju spojenog induktiviteta L; otpor R_1 jednak je otporu R_2. Na dijagonalu mosta AB dovodi se preko niskofrekventnog transformatora nelinearno izobličeni izmjenični napon U_{ef}; a — b su ulazne priključnice distorziometra. U dijagonalu CD spojen je preko preklopnika S elektronski voltmetar V. Kod mjerenja faktora izobličenja najprije se rezonantni krug L — C pomoću C ugodi na o s n o v n i val (osnovnu frekvenciju) ulaznog napona. Kao što je poznato, u slučaju rezonancije titrajni krug L — C predstavlja omski otpor (radni otpor) (vidi dio I, odsjek 96), koji se može izjednačiti promjenljivim otporom R_3. Most je ispravno ugođen (pomoću C i R_3) onda, ako između tačaka C i D nema napona za o s n o v n i val, to jest ako elektronski voltmetar V pokazuje najmanji otklon (preklopnik S stoji pri tome na kontaktima *1—1*). No za n a d v a l o v e most nije ugođen. Rezonantni krug L — C ugođen je samo na osnovni val, i on je za sve nadvalove mnogo veći otpor nego R_3. Kako je osim toga $R_1 = R_2$, efektivna vrijednost izmjeničnog napona između tačaka C i D praktički je jednaka samo polovini napona između tačaka A i B; elektronski voltmetar V s kvadratičnom radnom karakteristikom pokazuje dakle efektivnu vrijednost $\frac{1}{2}\,U_{vef}$ (vidi odsjek 144). Sada se preklopnik S prebaci na kontakte 2 — 2 i pomoću omskog potenciometra R_4, koji je spojen paralelno dijagonali mosta AB, namjesti tako velik dio $p \cdot U_{ef}$ ukupnog izobličenog napona, da voltmetar pokazuje isti otklon kao i kod mjerenja između tačaka C i D. Tada je $\frac{1}{2}\,U_{vef} = p \cdot U_{ef}$ i prema tome faktor izobličenja: $k \approx U_{vef}/U_{ef} = 2\,p$. Označimo li s R dio otpora koji je namješten na potenciometru R_4, tada je: $p \cdot U_{ef}/U_{ef} = p = R/R_4$. Preporuča se, da se potenciometar R_4 već unaprijed baždari u postocima p o l o v i n e efektivne vrijednosti izobličenog ukupnog napona U_{ef} tada se naime faktor izobličenja može na potenciometru R_4 očitati direktno u postocima. Ako izmjenični napon, koji se dovodi na priključnice a — b, nije nelinearno izobličen, tada elektronski voltmetar V nakon ugađanja mosta CD i mjerenja, koja iza toga slijede, ne pokazuje nikakav otklon ($k = 0$).

Ponavljanje

Veličina nelinearnih izobličenja kod nekog pojačala ili prijemnika određuje se *mjerenjem faktora izobličenja.* Mjerenje se izvodi pomoću *mosta,* koji se sastoji od tri čista omska otpora i jednog serijskog rezonantnog kruga. Most se najprije pomoću kapaciteta u rezonantnom krugu i pomoću omskog otpora ugodi na osnovni val mjerenog izobličenog napona. Elektronski voltmetar pokazuje tada polovinu efektivne vrijednosti napona smjese nadvalova. Sada se elektronski voltmetar prekopča na potenciometar, koji je priključen na ukupni izobličeni napon, i pomoću ovog potenciometra namjesti se isto toliki napon, koliki se je prije dobio na mostu; iz ovoga se dobije veličina traženog faktora izobličenja. Preporuča se da se potenciometar odmah baždari u postocima faktora izobličenja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se određuje veličina nelinearnih izobličenja kod nekog pojačala ili prijemnika? *Odgovor:* Mjerenjem faktora izobličenja pomoću distorziometra. — *P.:* Kakav spoj ima distorziometar? *O.:* To je Wheatstoneov most, kod kojeg donju granu čine dva čista omska otpora, a gornju granu čisti omski otpor i serijski spoj promjenljivog kapaciteta i induktiviteta (serijski rezonantni krug). — *P.:* Kako se most ugađa? *O.:* Rezonantni krug se ugodi na osnovni val mjerenog nelinearno izobličenog napona, a otpor gubitaka rezonantnog kruga izravna se promjenljivim omskim otporom u donjoj grani mosta. — *P.:* Po čemu se može vidjeti da je most ispravno ugođen na osnovni val? *O.:* Po tome, što elektronski voltmetar, koji je spojen mostu paralelno, pokazuje najmanji otklon. — *P.:* Od čega dolazi do ovog otklona? *O.:* Od efektivne vrijednosti napona, koju ima smjesa nadvalova sadržana u izobličenom mjerenom naponu. — *P.:* Što je nadalje kod mjerenja potrebno učiniti? *O.:* Na potenciometru, na kojem vlada mjereni napon, namjesti se tako velik dio napona, da elektronski voltmetar, koji se prekopča na potenciometar, pokazuje isti otklon kao i kod prijašnjeg mjerenja. — *P.:* Koliki je tada izmjereni faktor izobličenja? *O.:* Jednak je dvostrukom odnosu otpora namještenog na potenciometru prema ukupnom otporu potenciometra. — *P.:* Kako se može izbjeći ovo preračunavanje? *O.:* Baždarenjem potenciometra u postocima polovine efektivne vrijednosti ukupnog izobličenog napona. — *P.:* Zašto ovako izvršeno mjerenje faktora izobličenja nije posve tačno? *O.:* Jer se ne mjeri odnos efektivne vrijednosti smjese nadvalova prema efektivnoj vrijednosti osnovnog vala, nego prema efektivnoj vrijednosti smjese osnovnog vala i nadvalova.

Pitanja

75. Kakvo praktičko značenje ima snimanje frekventne krivulje pojačala?

76. Kako se može smanjiti visok unutarnji otpor nekog izlaznog vatmetra?

77. Što je faktor izobličenja kod nekog nelinearno izobličenog izmjeničnog napona?

Zadaci

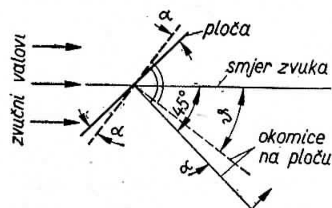
56. Neki izlazni vatmetar ima unutarnji otpor od 7 500 Ω i osnovno mjerno područje od 15 V_{ef}. Koliki moraju biti predotpori i poredni otpori, ako vatmetar mora uz konstantni unutarnji otpor imati i mjerna područja od 60 V_{ef} i 150 V_{ef}?

57. Kod nekog nelinearno izobličenog napona napon osnovnog vala iznosi 20 V_{ef}, a napon prvog, drugog, odnosno trećeg nadvala 1,25 V_{ef}, 2,5 V_{ef}, odnosno 0,25 V_{ef}. a) Koliki je faktor izobličenja? b) Koliki se dobiva faktor izobličenja, ako se on ne odnosi na efektivni napon osnovnog vala, nego na efektivni napon smjese osnovnog vala i nadvalova?

Elektroakustička mjerenja

192. — U odsjecima 1. do 23. opširno smo se pozabavili fizikalnim osnovima akustike i pri tome vidjeli, kakvo veliko značenje ima danas ovo područje. Neprestano poboljšavanje kvaliteta tona kod modernih uređaja za snimanje i reprodukciju treba u krajnjoj liniji zahvaliti primjeni *elektroakustičkih mjernih metoda.* Stoga ćemo se u slijedećim re-

cima upoznati s najvažnijim elektroakustičkim mjerenjima i počet ćemo *s mjerenjem jakosti zvuka.* Pod j a k o š ć u z v u k a (i n t e n z i t e t o m z v u k a) razumijevamo, prema odsjeku 8, onu količinu energije, koju zvučni val prenese u jedinici vremena kroz jedinicu površine okomitu na smjer širenja zvučnih valova. Za mjerenje jakosti zvuka još se i danas upotrebljava već odavno poznata metoda s *Rayleighjevom pločom*[20]). Ovom metodom najprije se izmjeri *brzinska amplituda* zvučnog polja (vidi odsjek 8), a iz ovoga se onda izračuna *jakost zvuka.* Rayleighjeva ploča je ploča od tinjca, promjera samo nekoliko milimetara, obješena na vrlo tanku nit od kvarca ili stakla; ako na ovu ploču zvučni valovi dolaze koso, tada se ona nastoji postaviti okomito na smjer širenja zvuka. Ploča je u ravnoteži, ako je zakretni momenat M_d, koji uzrokuju zvučni valovi, jednak povratnom momentu $D \cdot \alpha$ niti, na koju je ploča ovješena; ovdje je D povratna sila[21]) niti, a α m a l e n i kut (u lučnoj mjeri!), za koji se zakrene okomica na ravninu ploče. Ako je ϱ gustoća uzduha u [din $\cdot$ s²/cm⁴] (vidi odsjek 7), r radijus u [cm] ploče koja je kružnog oblika, v brzinska amplituda u [cm/s] i ϑ kut između okomice na ploču i smjera zvuka, tada izvod, koji ćemo ovdje mimoići, daje slijedeći izraz za zakretni momenat: $M_d = (4/3)\, \varrho \cdot r^3 \cdot v^2 \cdot \sin 2\,\vartheta$ [din · cm]. Zakretni momenat M_d je najveći za $2\,\vartheta = 90^0$, dakle za $\vartheta = 45^0$. Zato je uobičajeno da se na početku mjerenja ploča zakrene za 45⁰ prema smjeru upada zvuka (sl. 183). Ako se sada ploča, odnosno okomica na ploču, uslijed djelovanja zvučnih valova zakrene za maleni kut α (u lučnoj mjeri!), tada je u stanju ravnoteže $M_d = D \cdot \alpha$. Prema tome dobivamo: $(4/3)\, \varrho \cdot r^3 \cdot v^2 \cdot \sin 2\,\vartheta = D \cdot \alpha$, ili



Sl. 183.

$$v = \sqrt{\frac{3\,D\,\alpha}{2\,\varrho\, r^3 \sin 2\,\vartheta}} \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

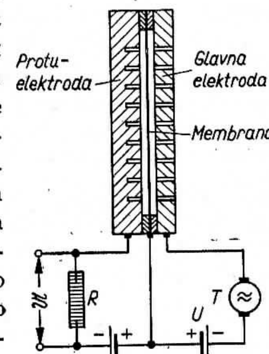
Kut α, za koji se u praksi ploča zakrene, vrlo je malen; zato ga se kao kod galvanometra sa zrcalom mjeri po poznatoj metodi svjetlosne kazaljke, dakle pomoću dalekozora i ogledala. Ogledalo je u ovom slučaju sama ploča (vidi odsjek 139). Iz brzinske amplitude v, koja se izmjeri pomoću Rayleighjeve ploče, može se lako izračunati *jakost zvuka N.* Uvrstimo li naime jedn. (4), u jedn. (5), tada dobivamo: $N = p^2 \cdot 10^{-7}/z = v^2 \cdot z^2 \cdot 10^{-7}/z$ ili $N = v^2 \cdot z \cdot 10^{-7}$ [W/cm²]; ovdje je z akustička impedancija plina u kojem se zvuk širi (vidi odsjek 7). Kao nadopuna još ćemo upozoriti, da su ova proračunavanja posve tačna samo onda ako se zvučni valovi mogu smatrati ravnim valovima (usporedi odsjek 3). Ovaj uvjet je u dovoljnoj mjeri ispunjen, ako je izvor zvuka (zvučnik) od Rayleighjeve ploče udaljen barem 2 m; kod tonskih frekvencija iznad kojih 400 Hz nije međutim udaljenost izvora zvuka od važnosti.

[20]) Lord *Rayleigh* (izgovori: Reili) predložio godine 1882.

[21]) Povratna sila D nekog tijela, koje se zakreće oko neke osovine, jest konstantni odnos povratnog momenta ovjesne niti prema malenom zakretnom kutu (u lučnoj mjeri). Povratna sila D može se dobiti iz trajanja titraja T u [s] i momenta tromosti J u [g · cm²] tijela, ovdje dakle ploče; iz $T = 2\,\pi\,\sqrt{J/D}$ slijedi naime: $D = 4\,\pi^2 J/T^2$ [g · cm²/s²].

193. — Rayleighjeva ploča može se upotrijebiti također *za mjerenje zvučnog tlaka;* prema jedn. (4) vrijedi: *zvučni tlak = brzinska amplituda × akustička impedancija* ili $p = v \cdot z$. Uzevši u obzir jedn. (32) dobivamo za zvučni tlak: $p = z\,\sqrt{3\,D\,\alpha/(2\varrho\, r^3 \sin 2\,\vartheta)}$, ili, budući da su z, D, ϱ, r i ϑ čvrste vrijednosti: $p = konst.\ \sqrt{\alpha}$, to jest zvučni tlak je proporcionalan kvadratnom korijenu iz kuta, za koji se ploča zakrene. No i ovdje vrijedi ograničenje spomenuto na koncu odsjeka 192.

194. — Naročito veliko značenje ima mjerenje zvučnog tlaka pomoću *kondenzatorskog mikrofona.* Prema odsjeku 34, promjene zvučnog tlaka uzrokuju odgovarajuće promjene kapaciteta kondenzatora, koji čine membrana i protuelektroda. Uslijed toga nastaje na visokoomskom opteretnom otporu R kondenzatorskog mikrofona izmjenični napon $\mathfrak{U}$ koji odgovara titrajima zvuka (sl. 184; vidi također sl. 17. i 19.) Da bi se moglo provesti mjerenje zvučnog tlaka mora se kondenzatorski mikrofon b a ž d a r i t i, to jest mora se naći ovisnost proizvedenog izmjeničnog napona o zvučnom tlaku. Ovo se dobiva pomoću posebne izrupičane i izolirane e l e k t r o d e (vidi sl. 184), koja se doda kondenzatorskom mikrofonu. Ova elektroda ima prema membrani istosmjerni napon U; ovom se naponu superponira tonfrekventni izmjenični napon iz tongeneratora T. Zbog ovoga se elektrostatska privlačna sila između dodane elektrode i membrane periodično mijenja, što membranu pobuđuje na mehaničko titranje. Membrana se, dakle, na titranje ne pobuđuje akustički, nego elektrostatski. Označimo li sa $\mathfrak{E}_1$ jakost električkog polja koje dolazi od istosmjernog napona, a sa $\mathfrak{E}_2 \sin \omega t$ električko polje koje proizvodi tonfrekventni napon, tada se na temelju izvoda, koji ćemo ovdje mimoići, dobiva kao tlak na membranu:



Sl. 184.

$$p = \frac{1}{8\,\pi}\left(\mathfrak{E}_1^2 + 2\,\mathfrak{E}_1 \cdot \mathfrak{E}_2 \cdot \sin \omega t + \frac{\mathfrak{E}_2^2}{2}\,(1 - \cos 2\,\omega t)\right) \quad (33)$$

Iz ovoga vidimo, da se tlak p, koji djeluje na membranu uz m a l e n e jakosti polja $\mathfrak{E}_2$ ($\mathfrak{E}_2 \ll \mathfrak{E}_1$) sastoji se od konstantnog dijela $\mathfrak{E}_1^2/8\pi$ i promjenljivog dijela $\mathfrak{E}_1 \cdot \mathfrak{E}_2 \cdot \sin \omega t/4\pi$; komponenta tlaka, koja se mijenja

s kružnom frekvencijom 2 ω, može se prema prije spomenutim komponentama zanemariti. No ako je 𝔈 vrlo malen ($\mathfrak{E}_1 \ll \mathfrak{E}_2$), tada promjene tlaka nastaju uglavnom samo uslijed promjena jakosti polja koje imaju kružnu frekvenciju 2 ω. Budući da kondenzatorski mikrofon mjeri zvučni tlak na mjestu membrane, a ne na mjestu slobodnog prostora, moraju se prilikom baždarenja mikrofona unijeti korekcije. Kod praktičke upotrebe kondenzatorskog mikrofona dolazi naime uslijed refleksija i savijanja zvučnih valova na mikrofonu do povišenja zvučnog tlaka u neposrednoj okolini mikrofona. Prema tome baždarna krivulja mikrofona, koja se mjeri elektrostatski, odstupa od stvarne baždarne krivulje. Ova pojava, koja se u većoj mjeri zapaža tek kod viših frekvencija, može se samo tada zanemariti, ako su geometrijske dimenzije mikrofonskog sistema vrlo malene prema valnoj dužini zvučnih titraja.

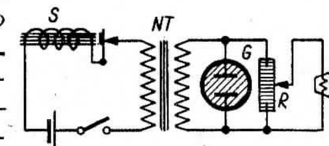
Ponavljanje

Za mjerenje jakosti zvuka (zvučne snage) upotrebljava se *Rayleighjeva* ploča ovješena na tanku nit. Ako na ovu ploču udaraju zvučni valovi, nastoji se ona namjestiti okomito na smjer širenja zvuka. U stanju ravnoteže je zakretni momenat ploče jednak povratnom momentu ovjesne niti; iz ovog odnosa može se izračunati najprije brzinska amplituda, a zatim iz ove jakost zvuka. Isti postupak primjenjuje se i za mjerenje *zvučnog tlaka;* zvučni tlak razmjeran je kvadratnom korijenu iz kuta, za koji se zakrene Rayleighjeva ploča. U novije vrijeme zvučni tlak se mjeri većinom pomoću kondenzatorskog mikrofona. Radi baždarenja mikrofona na zvučni tlak, dodaje se mikrofonu izrupičana elektroda, na koju se priključi istosmjerni napon; ovom naponu je superponiran tonfrekventni izmjenični napon. Na ovaj način se membrana ne pobuđuje na titranje akustički, nego elektrostatski. Zvučni tlak stoji u poznatoj ovisnosti o jakosti električkog polja, koje proizvodi istosmjerni napon i njemu superponirani izmjenični napon. Kod ovih mjerenja ne smije se zaboraviti, da se elektrostatski izmjerena baždarna krivulja kondenzatorskog mikrofona kod visokih frekvencija ne slaže sa stvarnom baždarnom krivuljom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se mjeri jakost zvuka? *Odgovor:* Pomoću Rayleighjeve ploče. — *P.:* Kako se ponaša Rayleighjeva ploča u zvučnom polju? *O.:* Uslijed djelovanja zvučnih valova ona nastoji da se postavi okomito na smjer zvuka; ploča je u ravnoteži, ako je zakretni momenat proizveden od zvučnih valova jednak povratnom momentu ovjesne niti. — *P.:* Kada je zakretni momenat ploče najveći? *O.:* Ako ravnina ploče sa smjerom zvuka čini kut od 45°. — *P.:* Kako se mjere vrlo maleni zakretni kutovi ploče? *O.:* Pomoću metode sa svjetlosnom kazaljkom. — *P.:* Kako brzinska amplituda ovisi o zakretnom kutu Rayleighjeve ploče? *O.:* Brzinska amplituda je razmjerna kvadratnom korijenu iz kuta zakreta. — *P.:* Uz koje pretpostavke su mjerenja s Rayleighjevom pločom tačna? *O.:* Ako se zvučni valovi mogu smatrati ravnim valovima. — *P.:* Kada je ovo slučaj? *O.:* Onda kada se izvor zvuka nalazi dovoljno daleko od Rayleighjeve ploče. — *P.:* Za kakva se još mjerenja može upotrijebiti Rayleighjeva ploča? *O.:* Za mjerenje zvučnog tlaka. — *P.:* Osim ovoga, koju smo još metodu za mjerenje zvučnog tlaka upoznali? *O.:* Upoznali smo mjerenje zvučnog tlaka pomoću kondenzatorskog mikrofona. — *P.:* Kakav je dodatni uređaj potreban kondenzatorskom mikrofonu, da se može provesti baždarenje za zvučni tlak? *O.:* Dodatna elektroda, kojoj je doveden istosmjerni napon sa superponiranim tonfrekventnim izmjeničnim naponom. — *P.:* Čemu služi ova dodatna elektroda? *O.:* Pomoću nje se titraji membrane proizvode elektrostatski. — *P.:* Zašto je ova metoda naročito jednostavna? *O.:* Zato što se elektrostatskim putem proizvedeni tlakovi, koji djeluju na membranu, mogu lako izračunati. — *P.:* Kakav nedostatak ima ova metoda? *O.:* Kod visokih frekvencija elektrostatski izmjerena baždarna krivulja kondenzatorskog mikrofona odstupa od prave baždarne krivulje.

195. — Mnogo teže od mjerenja jakosti zvuka i zvučnog tlaka je *mjerenje glasnoće.* Već iz odsjeka 11. znamo, da se po jakosti zvuka, odnosno po zvučnom tlaku nekog tona, ne može bez daljnjega prosuditi kakav je osjet glasnoće, jer je osjet glasnoće (slušni utisak) jako ovisan o frekvenciji. *Subjektivno mjerenje glasnoće* osniva se na uspoređivanju mjerenoga tona ili zvuka s poredbenim tonom od 800 Hz ili 1 000 Hz. Kod *mjerača šuma po Barkhausenu* poredbeni ton, proizveden pomoću zujala S (sl. 185), dovodi se preko niskofrekventnog transformatora i potenciometra *R*, baždarenog u jedinicama za glasnoću (fonima; vidi odsjek 12), slušalici *K*. Izmjenični napon, koji daje zujalo, drži se pomoću tinjalice *G* na istoj vrijednosti određenoj naponom paljenja tinjalice. Za vrijeme mjerenja poredbeni ton slušamo jednim uhom preko slušalice, a mjereni ton drugim uhom direktno. Sada pomoću potenciometra *R* reguliramo glasnoću poredbenog tona tako dugo, dok oba izvora zvuka ne čujemo jednako glasno. Uz malo vježbe i uz prosječni sluh uspijeva ovo poređivanje glasnoće i uz sasvim različite boje ovih dvaju tonova. Zato se ova metoda u tehnici često upotrebljava, i to na primjer za mjerenje buke u bučnim pogonima, na ulicama itd.

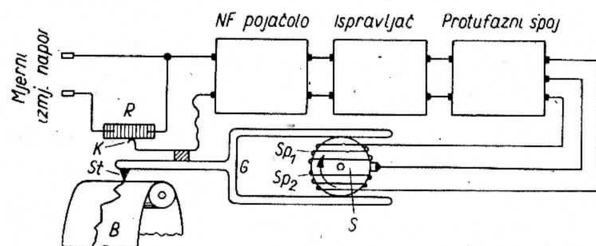


Sl. 185.

196. — U novije vrijeme se radi i na razvijanju metode za *objektivno mjerenje glasnoće.* Ova metoda se osniva na slijedećoj zamisli: Mjerene zvučne titraje prima mikrofon i pretvara ih u odgovarajuće električke izmjenične napone; ovi se naponi dovode »umjetnom uhu«, pojačavaju u niskofrekventnom pojačalu i na koncu mjere pomoću instrumenta sa suhim ispravljačem. Umjetno uho je električki filtar, koji niske i visoke tonske frekvencije slabi tako jako da frekventne krivulje niskofrekventnog pojačala kod različitih glasnoća odgovaraju krivuljama osjetljivosti čovječjeg uha (vidi sl. 3). Ovakav se uređaj mora baždariti pomoću čovječjeg uha.

197. — U osnovna akustička mjerenja ubraja se i *mjerenje vremena odjeka* (vidi odsjek 21), jer odjek određuje akustičke kvalitete neke pro-

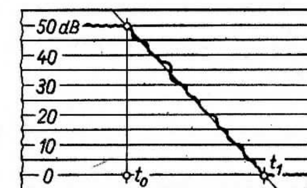
storije. Odjek se najjednostavnije može mjeriti pomoću *stop-sata i orguljne svirale,* koja daje konstantan jaki ton. Pri tome se pusti da u dotičnoj prostoriji ton svirale traje neko vrijeme, a zatim se naglo prekine i u istom trenu satom počne mjeriti vrijeme. Vrijeme odjeka jednako



Sl. 186.

je tada onom vremenu koje prođe od trenutka, kad je svirala prestala davati ton, do onog trenutka kada se ton, stišavajući se, upravo jedva još čuje. Ova metoda, naravno, nije naročito tačna i prikladna je samo za frekvencije do kojih 2 500 Hz. Danas se za proizvođenje zvuka upotrebljavaju *signalni pištolji* jer prasak pištolja sadržava frekvencije iz cijelog čujnog područja. Da se, naime, izbjegnu pogreške u mjerenju uslijed nastajanja stojnih valova u prostoriji, važno je, da se kod mjerenja odjeka ne upotrebljavaju pojedinačni tonovi nego smjese tonova. Na sl. 186. vidimo principnu shemu modernog uređaja za mjerenje odjeka *(reverberometra).* Na ulazne priključnice ovog uređaja dolaze izmjenični naponi koje daje mikrofon. Između krakova viljuške *G* nalazi se ploča od mekog željeza *S* promjera 40 mm, koju okreće sinhroni motor. Ako su pritisci obaju krakova viljuške na ploču jednaki, tada viljuška miruje. Oko gornjeg dijela ploče namotana je zavojnica Sp_1, a oko donjeg dijela zavojnica Sp_2. Ako kroz ove zavojnice teku struje različite jakosti, tada se dijelovi ploče različito magnetiziraju. Uslijed toga ploča *S* privlači krakove viljuške nejednakom silom, te se viljuška pomiče na lijevo ili na desno, već prema razlici momenata. Na lijevom kraju viljuške nalazi se pisaljka *St,* koja kretanje viljuške upisuje na pomičnu vrpcu *V.* Struje, koje teku kroz zavojnice Sp_1 i Sp_2, dobivaju se djelovanjem mjernog izmjeničnog napona preko niskofrekventnog pojačala, ispravljača i prikladnog protufaznog spoja. Osim ovoga na lijevom kraju viljuške nalazi se i klizač *K,* koji kliže po potenciometru s logaritmičkom karakteristikom *R* (vidi dio II, odsjek 261). Potenciometar je preko jednog čvrstog i jednog gibljivog voda priključen paralelno na ulazne priključnice pojačala. Zbog toga pojačalo ne dobiva cijeli ulazni na-

pon, nego samo jedan njegov dio, koji se mijenja logaritmički. Prednost ovoga je u tome, što se kod baždarenja potenciometra ulazni napon može nanijeti u decibelima [dB] [vidi odsjek 16. i jedn (7)]. Na sl. 187. prikazana je krivulja odjeka, koja je snimljena na ovaj način. Vidimo da ulazni napon, a prema tome i jakost zvuka u prostoriji, pada na nulu približno po pravcu. Iz nagiba ovog pravca prema horizontali može se dobiti vrijeme odjeka. Vrijeme između t_0 i t_1 određeno je brzinom vrpce *B.* Pomoću opisanog pisača mogu se zbog njegove logaritmičke karakteristike mjeriti izmjenični naponi, u odnosu od kojih 1 : 5 000 $\approx$ 74 dB, i to u frekventnom području od kojih 20 do 10 000 Hz.



Sl. 187.

Ponavljanje

Za subjektivno *mjerenje glasnoće* upotrebljava se *mjerač šuma po Barkhausenu.* Pri tome se glasnoća iz zujala namjesti na istu glasnoću, koju ima mjereni ton ili šum. Uređaji za objektivno mjerenje glasnoće rade s niskofrekventnim pojačalom, kojemu se frekventna krivulja pomoću filtra za prigušivanje niskih i visokih tonskih frekvencija (»umjetno uho«) prilagodi kod različitih glasnoća krivuljama osjetljivosti čovječjeg uha. *Odjek* se na najjednostavniji način mjeri pomoću orguljne svirale, i stop-sata, i to tako, da se mjeri vrijeme od isključenja svirale, pa do momenta, kad se ton više ne čuje. Umjesto orguljnih svirala danas se upotrebljavaju signalni pištolji, jer se tako može izbjeći nastajanje stojnih valova. Kod mjerenja odjeka pomoću opisanog *pisača* ucrtava se opadanje glasnoće u obliku krivulje na vrpci koja se giblje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Na kakve se poteškoće nailazi kod mjerenja glasnoće? *Odgovor:* Osjet glasnoće je jako ovisan o frekvenciji; on prema tome ne odgovara bez daljnjega izmjerenoj jakosti zvuka, odnosno izmjerenom zvučnom tlaku. — *P.:* Kako se glasnoća može mjeriti subjektivno? *O.:* Pomoću mjerača šuma po Barkhausenu. — *P.:* Na kojem principu se osniva ova mjerna metoda? *O.:* Poredbeni ton, koji proizvodi zujalo, namješta se na istu glasnoću, koju ima mjereni ton ili šum. — *P.:* Na kojem principu radi uređaj za objektivno mjerenje glasnoće? *O.:* Mikrofonski naponi pojačavaju se u pojačalu i dovode instrumentu sa suhim ispravljačem; pri tome se frekventne krivulje pojačala kod različitih glasnoća, pomoću filtra, koji prigušuje niske i visoke tonske frekvencije, prilagođuju krivuljama osjetljivosti čovječjeg uha. — *P.:* Čime se na najjednostavniji način može izmjeriti odjek neke prostorije? *O.:* Pomoću orguljne svirale i stop-sata. — *P.:* Kakav izvor zvuka za mjerenje odjeka je naročito prikladan i zašto? *O.:* Signalni pištolj; prasak pištolja sadržava frekvencije iz cijelog čujnog područja, te nema opasnosti da će nastati stojni valovi. — *P.:* Koji smo moderni uređaj za mjerenje odjeka upoznali i kako se kod njega dobiva vrijeme odjeka? *O.:* Logaritmički pisač; vrijeme odjeka se dobiva iz nagiba nacrtane krivulje odjeka, jer je brzina vrpce poznata.

Pitanja

78. Za koja se mjerenja može upotrijebiti Rayleighjeva ploča?

79. U kakvoj je ovisnosti osjet glasnoće nekog tona o stvarnoj jakosti zvuka?

80. Koje smo metode za mjerenje glasnoće upoznali?

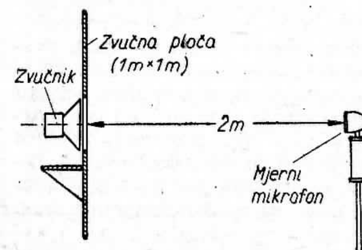
Zadaci

58. Brzinska amplituda nekog tona izmjerena pomoću Rayleighjeve ploče u uzduhu temperature 20° C i uz zračni tlak od 1 013 mb iznosi 0,005 cm/s: a) Kolika je brzinska amplituda tona koji uzrokuje devet puta toliki kut zakreta ploče kao prvi ton? b) Kolike su u oba slučaja jakosti zvuka?

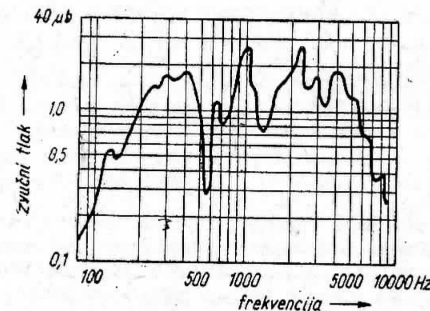
Mjerenja na zvučnicima

198. — Da se može prosuditi kvaliteta nekog zvučnika moraju se izvršiti mjerenja. No pri tome nije dovoljno da se snimi samo jedna krivulja. Štaviše, mora se snimiti ne samo *frekventna krivulja,* nego barem još i *krivulja faktora izobličenja* kod različitih frekvencija. Međutim na ovaj način dobiveni rezultati nemaju općenito značenje, jer su važni još i uvjeti, pod kojima zvučnik radi. Rezultati mjerenja na zvučnicima ovisni su naime o svojstvima izlaznog stupnja pojačala na koje je zvučnik priključen, o prilagođenju zvučnika na ovaj izlazni stupanj itd. Osim ovoga važno je i vrijeme odjeka prostorije, u kojoj se vrši mjerenje. Iz svega ovoga se može vidjeti, da je jednoznačno poređivanje mjerenjem dobivenih podataka o kvaliteti različitih zvučnika moguće samo onda, ako se uvjeti pogona i mjerenja međusobno slažu.

199. — Kod *snimanja frekventne krivulje* zvučnika priključuje se zvučnik preko niskofrekventnog pojačala na tongenerator (vidi odsjek 184). Pri tome je prilagođenje zvučnika na izlazni stupanj pojačala takvo, da su prilike iste kao u praktičkom pogonu zvučnika (usporedi dio II, odsjeke 126 do 128). Zvučni valovi, koje emitira zvučnik, djeluju na kondenzatorski mikrofon baždaren u zvučnim tlakovima, i pri tome se mjeri ovisnost zvučnog tlaka o frekvenciji. Budući da želimo dobiti samo frekventnu krivulju zvučnika, mora se paziti na to, da do mjernog mikrofona dospijevaju samo oni zvučni valovi, koji dolaze direktno od zvučnika (bez refleksija!). Ovaj se zahtjev može ispuniti tako, da se zvučnik i mikrofon smještaju u s l o b o d n o m p r o s t o r u. Zbog praktičkih razloga (neovisnost o vremenskim prilikama!) većinom se zvučnik i mikrofon smještaju u p r o s t o r i j u b e z o d j e k a (»m r t v a« k o m o r a). Ovakva prostorija se dobije tako, da se sve stijene oblože slojem vate debelim 350 mm. Nadalje je potrebno imati podrobnije podatke o tome, u kojem smjeru i u kojoj udaljenosti od zvučnika je prilikom snimanja frekventne krivulje bio postavljen mjerni mikrofon. Budući da se slušač većinom nalazi nasuprot zvučniku, preporuča se da se mjerni mikrofon postavi u vodoravnoj osi zvučnika na udaljenosti od kojih 2 m[22]) (sl. 188). Na sl. 189. vidimo kao primjer frekventnu krivulju (ovisnost zvučnog tlaka o frekvenciji) nekog zvučnika snimljenu u »gluhoj« komori; kod mjerenja je izmjenični napon na rešetki izlaznog stupnja pojačala imao stalno konstantnu vrijednost. Različiti vrhovi frekventne krivulje nastaju uslijed rezonantnih pojava membrane i cijelog



Sl. 188.



Sl. 189.

sistema zvučnika. Opisana metoda za snimanje frekventne krivulje zvučnika prilično je jednostavna; no ona ima stanovite slabe strane. Stoga su razvijene metode koje su znatno komplicirani je, no koje daju pouzdanije podatke o frekventnoj ovisnosti zvučnika; u pobliže opisivanje ovih metoda se, nažalost, ne možemo upuštati.

200. — Svaki zvučnik ima, naročito kod velikih glasnoća i niskih frekvencija, stanoviti *faktor izobličenja.* Pod faktorom izobličenja nekog zvučnika razumijevamo odnos kvadratnog korijena iz sume kvadrata efektivnih tlakova nadvalova prema efektivnom zvučnom tlaku osnovnog vala u tonu, koji emitira zvučnik (vidi odsjek 190). Kod *mjerenja faktora izobličenja* nekog zvučnika o s n o v n i val se u mjernom mikrofonu kompenzira, i to tako, da se mikrofonu dovede čisti sinusoidni izmjenični napon iste frekvencije. Izmjenični naponi, koje daje mikrofon, sadržavaju tada samo još n a d v a l o v e. Ovi nadvalovi se upotrebljavaju za moduliranje mjernog odašiljača (vidi odsjeke 126 i 128); modulirani visokofrekventni tiraji se sada ispravljaju i tako dobiveni tonfrekventni izmjenični napon mjeri se prikladnim voltmetrom. Izmjerena vrijednost je mjera za efektivnu vrijednost zvučnih tlakova koji pripadaju smjesi nadvalova. Izvedemo li sada isto mjerenje bez kompenziranja osnovnog vala, dobivamo vrijednost, koja je mjera za efektivnu vrijednost zvučnih tlakova smjese osnovnog vala i nadvalova. Faktor izobličenja zvučnika približno je jednak odnosu ovih dviju vri-

[22]) Kod ove postave zvučnika i mikrofona dolazi uslijed nejednoličnog isijavanja zvuka do izdizanja visokih frekvencija (vidi odsjek 55).

jednosti (vidi odsjek 190). Mjerenjem faktora izobličenja kod različitih frekvencija dobiva se krivulja faktora izobličenja, dakle ovisnost faktora izobličenja o frekvenciji.

Ponavljanje

Da bi se mogla prosuditi kvaliteta različitih zvučnika prema frekventnoj krivulji i krivulji distorzije, moraju biti poznati pogonski uvjeti zvučnika i uvjeti mjerenja. Kod *snimanja frekventne krivulje* zvučnika priključuje se zvučnik preko niskofrekventnog pojačala na tongenerator; zvučne valove, koje emitira zvučnik, prima baždareni kondenzatorski mikrofon, pri čemu se mjeri ovisnost zvučnog tlaka o frekvenciji. Ova mjerenja se vrše u prostoriji bez odjeka (»gluhoj« komori) i to tako, da je mikrofon postavljen u smjeru osi zvučnika i na udaljenosti od zvučnika otprilike 2 m. Kod *mjerenja faktora izobličenja* nekog zvučnika osnovni val se u mikrofonu kompenzira čistim sinusoidnim izmjeničnim naponom iste frekvencije. Nadvalovi izmjeničnog napona mikrofona upotrebljavaju se za moduliranje mjernog odašiljača; iza toga slijedi demoduliranje visokofrekventnih titraja i konačno mjerenje tako dobivenog tonfrekventnog napona. Sada se isto mjerenje provede bez kompenziranja osnovnog vala; faktor izobličenja zvučnika jednak je približno odnosu izmjerenih vrijednosti.

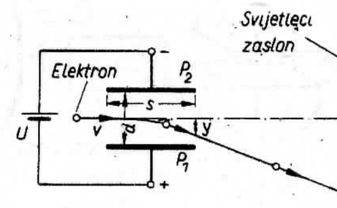
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakva je mjerenja potrebno izvršiti da se može prosuditi kvaliteta tona nekog zvučnika? *Odgovor:* Potrebno je snimiti frekventnu krivulju i krivulju faktora izobličenja zvučnika. — *P.*: Na što je potrebno paziti kod mjerenja? *O.*: Moraju biti poznati uvjeti pod kojima zvučnik radi i pod kojima se vrše mjerenja. — *P.*: Kako se vrši snimanje frekventne krivulje zvučnika? *O.*: Zvučnik se preko niskofrekventnog pojačala priključi na tongenerator; zatim se pomoću baždarenog kondenzatorskog mikrofona mjeri ovisnost zvučnog tlaka, koji proizvodi zvučnik, o frekvenciji. — *P.*: Zašto ova mjerenja treba izvesti u što više prigušenoj prostoriji? *O.*: Da se izbjegnu pogreške u mjerenju potrebno je, da zvučni valovi dolaze do mjernog mikrofona direktno, a ne zaobilazno, to jest ne kao reflektirani na zidovima prostorije. — *P.*: Što je potrebno reći o postavljanju mjernog mikrofona? *O.*: Frekventna krivulja zvučnika je ovisna o postavljanju mikrofona; mikrofon se većinom postavlja u smjeru osi zvučnika i na udaljenosti 2 m od zvučnika. — *P.*: Kako se mjeri faktor izobličenja kod nekog zvučnika? *O.*: Osnovni val iz smjese zvučnih valova, koje emitira zvučnik, u mjernom mikrofonu se kompenzira pomoću čistog sinusoidnog izmjeničnog napona iste frekvencije, a izmjenični napon, koji u mjernom mikrofonu proizvode nadvalovi, upotrebljava se za moduliranje mjernog odašiljača; zatim se mjeri tonfrekventni izmjenični napon, koji se dobije ispravljanjem moduliranih visokofrekventnih titraja. Nakon toga se isto mjerenje ponovi, ali bez kompenziranja osnovnog vala u mikrofonu. — *P.*: Kako se iz ovoga dobije traženi faktor izobličenja zvučnika? *O.*: Faktor izobličenja je približno jednak odnosu izmjerenih vrijednosti s kompenziranjem i bez kompenziranja osnovnog vala.

Katodna elektronka

201. — Kao završetak naših razlaganja o mjernoj radio-tehnici još ćemo se porazgovoriti o jednom modernom pomoćnom sredstvu mjerne tehnike, naime o *katodnoj elektronki*. Do pronalaska katodne elektronke došlo se istraživanjem pojava električkih ispražnjivanja u plinovima pomoću Geisslerovih cijevi (vidi dio I, odsjeke 234 i 235). *Hittorf* (1869) je prvi dokazao, da se katodne zrake mogu *otkloniti* pomoću električkih i magnetskih polja. Kasnije je *Braun* (1897), da bi mogao tačnije istraživati i mjeriti otklanjanje katodnih zraka, konstruirao elektronku, koja je po njemu prozvana *Braunova cijev* (vidi dio I, odsjek 239). Danas se ova elektronka naziva većinom *katodnom elektronkom*. Izvanredno mnogostrana primjena katodne elektronke za mjerenje titrajnih procesa, dakle za oscilografske svrhe, osniva se na činjenici, da se katodne zrake mogu lako i gotovo bez tromosti otklanjati pomoću električkih i magnetskih polja bilo koje frekvencije. Udaraju li katodne zrake o fluorescentni zastor, tada na njemu proizvode svijetlu mrlju (vidi dio I, odsjeke 238 i 239). Mjesto mrlje na zastoru može se mijenjati pomoću električkih i magnetskih polja; uz stanovite uvjete mrlja iscrtava na zastoru pravac ili krivulju. Ove činjenice čine osnov, da se katodna elektronka može primijeniti kao *katodni oscilograf*. Budući da se ovdje radi o jednom zornom mjernom postupku, katodna elektronka omogućuje dubok uvid u vrlo mnoge i zamršene prirodne procese; pomoću katodne elektronke mogu se pratiti i vrlo brzi procesi. Zbog toga je katodna elektronka našla široko područje primjene u cijeloj tehnici i znanosti. Njezina glavna područja primjene su elektrotehnika, dojavna tehnika, radio-tehnika i prije svega televizijska tehnika. No i u akustici, gradnji strojeva, kod ispitivanja materijala itd. primjenjuje se katodna elektronka u sve većoj mjeri. Mi ćemo još opširno govoriti o mnogobrojnim praktičkim primjerima primjene katodne elektronke.

202. — Otklanjanje katodne zrake vrši se gotovo isključivo *elektrostatski*, dakle pomoću električkih polja. Za ovo se upotrebljavaju dvije paralelne otklonske ploče P_1 i P_2, koje stoje pod naponom U (sl. 190). Između ploča vlada električko polje jakosti $\mathfrak{E} = U/d$ gdje je d razmak ploča. Ako sada neki elektron uleti u električko polje u smjeru paralelnom pločama s početnom brzinom v, tada se on zbog svog negativnog naboja otkloni prema *pozitivnoj* ploči P_1 i pri tome dobije ubrzanje b. Elektron će se kretati po *paraboličnom* putu isto onako kao tijelo u polju zemljine sile teže bačeno u horizontalnom smjeru. Kada elektron ostavi električko polje, koje vlada između ploča, tada on leti brzinom, koju je na koncu dobio, pra-



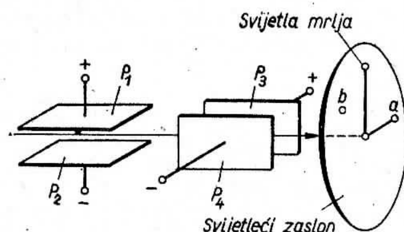
Sl. 190.

v o c r t n o dalje. Sila u električkom polju koja djeluje na elektron s negativnim elementarnim nabojem $e = 1{,}50 \cdot 10^{-19}$ C (kulona), jednaka je $e \cdot \mathfrak{E}$; naime jakost električkog polja $\mathfrak{E}$ je sila, koja djeluje na jedinični naboj: $e = 1$. S druge strane prema dinamičkom zakonu vrijedi: sila = masa × ubrzanje = $m \cdot b$. Odavle dobivamo: $e \cdot \mathfrak{E} = m \cdot b$. gdje je m masa elektrona ($= 8{,}99 \cdot 10^{-28}$ g [grama mase]). Iz ovoga slijedi: $b = e \cdot \mathfrak{E}/m$. Izraz e/m predstavlja specifični naboj elektrona ($= 1{,}77 \cdot 10^{8}$ C/g). Ako sa y označimo dužinu puta, koju elektron prođe u električkom polju okomito na otklonske ploče, a s t vrijeme koje je za to potrebno, tada se dobiva: $y = b\, t^2/2 = e \cdot \mathfrak{E} \cdot t^2/(2m)$. U isto vrijeme t elektron bi u slučaju da ploče n e m a j u napona, dakle bez djelovanja električkog polja, prošao put s (vidi sl. 190), i to jednolikom brzinom v; odatle je: $t = s/v$. Uvrstimo li ovu vrijednost u posljednju jednadžbu, tada je: $y = (s/v)^2 \cdot e/(2m)$. Uzevši u obzir mjerne jedinice[23]) dobivamo slijedeću praktičku jednadžbu:

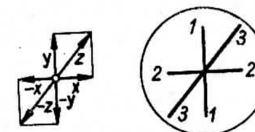
$$\boxed{y = 8{,}85 \cdot 10^{14}\, \mathfrak{E} \left(\frac{s}{v}\right)^2} \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

y se dobiva u [cm], ako je $\mathfrak{E}$ uvršteno u [V/cm], s u [cm], a v u [cm/s]. Budući da y ovisi o s k v a d r a t i č n o, put elektrona u električkom polju ima oblik p a r a b o l e. Nadalje je otklon y prema jedn. (34) proporcionalan jakosti polja $\mathfrak{E}$, dakle također i otklonskom naponu U. Ovo vrijedi uz uvjet da elektroni ne dođu u blizinu rubova otklonskih ploča, jer električko polje na ovim mjestima nije više homogeno. Ova se pogreška može u velikoj mjeri umanjiti, ako se razmak ploča d u smjeru leta elektrona postepeno p o v e ć a, to jest otklonske ploče ne postave se paralelno.

203. — Katodna elektronka se može i dalje izgrađivati: ugradi se ne samo jedan par ploča P_1 — P_2, nego još i drugi par P_3 — P_4 (sl. 191), i to tako da su električke silnice između pojedinih parova ploča međusobno o k o m i t e. Ako na paru ploča P_1 — P_2 vlada istosmjerni napon, tada se katodna zraka otkloni prema p o z i t i v n o j p l o č i P_1; svijetla mrlja, koju na zastoru proizvede katodna zraka, prijeđe prema tome put b okomito prema gore. No ako se i na par ploča P_3 — P_4 priključi istosmjerni napon, tada će se katodna zraka otkloniti prema p o z i t i v n o j ploči P_3, te će svijetla mrlja prijeći put a horizontalno u smjeru natrag. Smjerovi putova a i b međusobno su okomiti. Ako se na ploče P_1 — P_2 priključi *izmjenični napon*, tada se katodna zraka otklanja po pravcu y odnosno — y (sl. 192*a*). U istom slučaju na zastoru vidimo vertikalnu svijetlu crtu, dakako uz uvjet da je frekvencija napona tako velika, da naše oko ne može slijediti pojedinačna gibanja mrlje. P o l a dužine ove crte direktna je mjera za t j e m e n u vrijednost priključenog izmjeničnog napona. Ako na ploče P_3 — P_4 priključimo izmjenični napon, vidjet ćemo horizontalnu svijetlu crtu 2 — 2 (vidi i sl. 192*b*). Ako se na oba para ploča priključe i s t o d o b n o dva i s t o f a z n a izmjenična napona jednake frekvencije, tada se na zastoru dobiva kosa crta 3 — 3 (vidi sl. 192*b*), jer se otkloni y i x po zakonu paralelograma sastavljaju u otklon z (sl. 192*a*). Već nam ova razlaganja pokazuju, da se katodna elektronka može upotrijebiti za »oscilografiranje« izmjeničnih napona.



Sl. 191.



Sl. 192.

Ponavljanje

Katodna elektronka (Braunova cijev, elektronka s elektronskom zrakom) je vrlo mnogostrano pomoćno sredstvo moderne mjerne radio-tehnike. Praktičko značenje katodne elektronke osniva se na činjenici da se katodna zraka može lako i gotovo bez tromosti o t k l o n i t i pomoću električkih i magnetskih polja. Stoga je katodna elektronka prikladna prije svega za oscilografske svrhe *(katodni oscilograf)*. Ako katodna zraka prolazi kroz električko polje, koje tvore dvije nabijene ploče, tada se zraka savija po paraboli prema p o z i t i v n o j ploči; otklon je proporcionalan jakosti električkog polja. Ako se na otklonske ploče priključi i z m j e n i č n i n a p o n, tada katodna zraka na svijetlom zastoru proizvodi svijetlu crtu. Pomak svijetle mrlje na zastoru proporcionalan je tjemenoj vrijednosti izmjeničnog napona. U modernim katodnim elektronkama nalaze se d v a para otklonskih ploča, kod kojih su električka polja međusobno okomita; zbog toga je katodnu zraku moguće otkloniti u dva međusobno okomita smjera.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakvo praktičko značenje ima katodna elektronka? *Odgovor:* Katodna elektronka je važno pomoćno sredstvo za istraživanje i mjerenje titrajnih procesa u tehnici i znanosti. — *P.:* Na čemu se osniva mogućnost primjene katodne elektronke za oscilografske svrhe? *O.:* Na činjenici, da se katodne zrake mogu lako i gotovo bez tromosti otkloniti pomoću električkih i magnetskih polja. — *P.:* Po čemu se može vidjeti da se katodna zraka otklonila? *O.:* Po pomaku svijetle mrlje koju katodna zraka proizvodi na zastoru katodne elektronke. — *P.:* Kako se katodna zraka otklanja elektrostatski? *O.:* Pomoću napona, koji je priključen na otklonske ploče. — *P.:* U kojem smjeru se otklanja katodna zraka? *O.:* Uvijek u smjeru pozitivne ploče. — *P.:* Kakvu krivulju opisuje katodna zraka u otklonskom polju? *O.:* Parabolu. — *P.:* Što se može reći o veličini otklona? *O.:* On je razmjeran jakosti električkog polja koje vlada između ploča. — *P.:* Što se događa ako se na otklonske ploče priključi

[23]) $e/m = 1{,}77 \cdot 10^{8}\ C/g = 1{,}77 \cdot 10^{7}$ elektromagnetskih jedinica. $\mathfrak{E}$ [V/cm] $= 10^{8}\ \mathfrak{E}$ elektromagnetskih jedinica.

izmjenični napon? *O.*: Svijetla mrlja, koju na zastoru proizvodi katodna zraka, putuje po pravcu amo-tamo i ispisuje svijetleću crtu. — *P.*: Zašto moderne katodne elektronke imaju dva para otklonskih ploča? *O.*: Zato da se svijetla mrlja može otklanjati u dva međusobno okomita smjera. — *P.*: Kako su smješteni ovi parovi ploča? *O.*: Tako da su električka polja pojedinih parova međusobno okomita. — *P.*: Kako se kreće svijetla mrlja, ako se na oba para ploča priključe izmjenični naponi iste faze i frekvencije? *O.*: Svijetla mrlja se kreće po kosom pravcu.

Pitanja

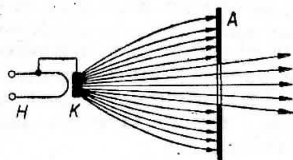
81. Što razumijevamo pod faktorom izobličenja nekog zvučnika?
82. Što je katodni oscilograf?
83. Kako se pomoću katodne elektronke može mjeriti veličina izmjeničnog napona?

Zadaci

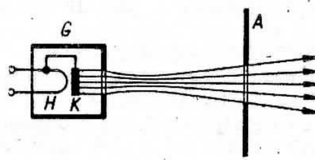
59. Paralelne otklonske ploče neke katodne elektronke razmaknute su 5 mm i dužina im je 15 mm. Koliki je otklon katodne zrake kod izlaska iz polja među pločama, ako je otklonski napon 200 V, a brzina elektrona $^1/_{12}$ brzine svjetlosti?

60. Na oba para otklonskih ploča neke katodne elektronke djeluju istodobno jednaki, za 90° fazno pomaknuti izmjenični naponi iste frekvencije. Kakvu krivulju iscrtava svijetla mrlja na svijetlećem zastoru?

204. — Za proizvođenje katodnih zraka upotrebljavaju se, kao i kod elektronki u pojačalima *užarene katode*. Katodne zrake (elektronske zrake), koje izlaze iz užarene katode, odlaze u svim pravcima. Na sl. 193. vidimo kako elektroni, koje isijava katoda *K* užarena žarnom niti



Sl. 193.

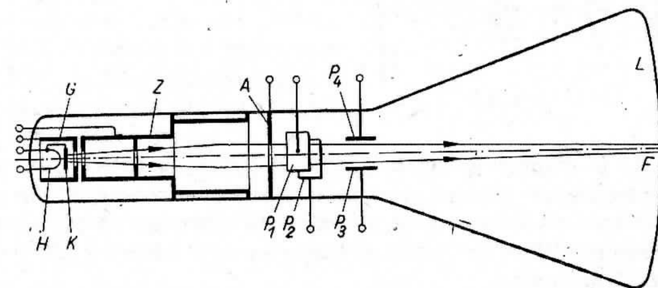


Sl. 194.

H, lete prema pozitivnoj anodnoj ploči *A*. Katodne zrake, koje prolaze kroz rupu u anodnoj ploči, n e s t v a r a j u p a r a l e l n i snop zraka; osim toga većina katodnih zraka završava na anodnoj ploči, tako da se praktički ne mogu iskoristiti. Zbog ovog na svijetlećem zastoru ne nastaje oštro ograničena, dovoljno malena svijetla mrlja; osim toga električka, odnosno magnetska otklonska sila ne djeluje na elektrone katodne zrake dovoljno jednolično. Zato nije moguće da se na ovaj način kod oscilografiranja dobiju na zastoru jasne slike. Da se ovo izbjegne, potrebno je, po mogućnosti, sve katodne zrake, koje izlaze iz užarene katode, skupiti u jedan snop. Po *Wehneltu* (1906) ovo se može učiniti *po-*

moćnom elektrodom G (sl. 194), koja ima otvor neposredno ispred katode. Ova pomoćna elektroda naziva se također *Wehneltov cilindar* ili *uzbudna rešetka*. Uzbudna rešetka dobiva n e g a t i v n i prednapon, zbog čega ona odbija elektrone i katodne zrake zbija u snop (vidi sl. 194). Što je veći negativni prednapon uzbudne rešetke, to je manji broj elektrona koji prolaze kroz otvor rešetke. Zbog ovoga postaje svjetlina mrlje na zastoru manja. Uzbudna rešetka ovdje dakle djeluje slično uzbudnoj rešetki kod elektronki pojačala; reguliranje svjetline mrlje naročito je važno kod katodne elektronke, koja se upotrebljava za televizijske svrhe.

205. — Sužavanje snopa katodnih zraka, koje se dobije na ovaj način, nije dovoljno ni za oscilografske svrhe, niti za televiziju. Svijetla mrlja na zastoru nema još uvijek potrebnu oštrinu i svjetlinu. Kao što vidimo na sl. 194. snop katodnih zraka, koji prolazi kroz rupu u anodnoj

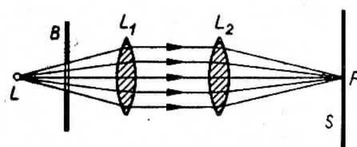


Sl. 195.

ploči A, još i dalje se proširuje. Ovome je uzrok međusobno odbijanje elektrona zrake. Zbog ovoga se između uzbudne rešetke *G* i anode *A* umeće još jedan *cilindar Z* (sl. 195), koji dobiva p o z i t i v n i napon, ali niži nego anoda *A*. Katodne zrake ulaze kroz malenu rupu na lijevoj strani u cilindar *Z*. Uslijed pozitivnog napona cilindra *Z* snop katodnih zraka se najprije proširuje (povećava presjek), a istodobno se elektrona zrake. Zbog ovoga se između uzbudne rešetke *G* i anode *A* manji presijek snopa katodnih zraka. Desni dio cilindra *Z* je proširen; time se sprečava da se katodne zrake suviše ne približe stijenama cilindra. U blizini anode *A* nastaje sužavanje snopa, koji se je dosada još proširivao. Anoda *A* ima naime viši pozitivni napon nego cilindar *Z*, zbog čega električke silnice između anode *A* i cilindra *Z* imaju takav oblik, da se elektroni otklanjaju u smjeru osi elektronke. Katodne zrake se zato sastaju približno u jednoj tački (»žarištu«) *F* na svijetlećem zastoru *L*. Tako dobivena svijetla mrlja ima površinu manju od 1 mm²! Ispravna udaljenost žarišta *F* od anode ovisi o odnosu razlika napona između anode i katode, odnosno između cilindra *Z* i katode. Mijenjanjem napona cilindra može se lako postići da žarište *F* padne tačno na svijetli

zastor i da tamo nastane vrlo malena oštra i svijetla mrlja. Dodamo li još nama već poznate parove otklonskih ploča P_1 — P_2 i P_3 — P_4, tada imamo osnovnu konstrukciju moderne katodne elektronke, koja se može upotrijebiti kako za oscilografske svrhe, tako i za potrebe televizije (vidi sl. 195)!

206. — Tok katodnih zraka na sl. 195. podsjeća na proizvođenje svijetle tačke pomoću *optičkih leća*. Zbog ove sličnosti naziva se uređaj za skupljanje katodnih zraka pomoću električkih, odnosno magnetskih polja, također *elektronska optika*. Uređaji elektronske optike kao što su uzbudna rešetka, cilindar, anoda, zovu se *električke* odnosno *magnetske leće*. Na sl. 196. prikazano je optičko dobivanje svijetle tačke. Zrake svjetla, koja izlaze iz izvora L i koje zastire zastor B, u paralelni snop skuplja leća L_1; izvor svjetla L stoji ovdje u žarištu leće L_1. Pomoću leće L_2 skupljaju se zrake svjetla na zastoru S u žarištu F. Kod »elektronske optike« (vidi sl. 195) žarna nit H i katoda K odgovaraju izvoru svjetla L, uzbudna rešetka G zastoru s rupom B, cilindar Z leći L_1, anoda A leći L_2, a zastor L na sl. 196. odgovara zastoru S. Prema »žarišnoj daljini« elektronske optike i udaljenosti zastora od katode može se jedan dio površine katode umanjeno ili povećano preslikati na zastor; pri tome vrijede odgovarajuće jednadžbe geometrijske optike.



Sl. 196.

207. — Katodne elektronke, o kojima smo dosada govorili, jesu *visokovakuumske elektronke*, u kojima tlak plina ima veličinu od kojih 10^{-6} mm stupca žive. No postoje i *plinom punjene katodne elektronke;* za punjenje se upotrebljavaju plemeniti plinovi (argon, neon, helijum itd.) s tlakom veličine 10^{-2} do 10^{-3} mm stupca žive. Plinom punjene katodne elektronke rade također s užarenom katodom koju obuhvaća uzbudna rešetka (Wehneltov cilindar) s anodom i s parovima otklonskih ploča. Jedino nema cilindra koji katodne zrake skuplja u jednu tačku. Skupljanje katodnih zraka (namještanje oštrine) vrši se kod ovih katodnih elektronki pomoću *procesa ionizacije*. Elektroni, koji izlaze iz katode, uzrokuju ionizaciju atoma plemenitog plina (vidi dio I, odsjek 236), to jest nastaju pozitivni ioni i slobodni elektroni. Pozitivni ioni plina, koji su u poređenju s elektronima razmjerno teški, kreću se polagano i ostaju prema tome u sredini ionizirajuće katodne zrake, dok ionizacijom nastali slobodni elektroni od katodne zrake bježe. U unutrašnjosti katodne zrake prevladavaju dakle pozitivni ioni; oni privlače elektrone katodne zrake prema osi zrake, te nastaje skupljanje katodne zrake u njoj samoj. Time se dobiva jednako djelovanje kao upotrebom pozitivnog cilindra kod visokovakuumskih katodnih elektronki. Da se postigne što manja svijetla mrlja na zastoru cijevi, mora tlak plina ima-

ti tačno određenu vrijednost. Ovo se u praksi ne može uvijek lako postići. Zbog svoje razmjerno malene trajnosti (udarci pozitivnih iona postepeno razore katodu!) nisu plinom punjene katodne elektronke mogle ući u praktičku upotrebu.

Ponavljanje

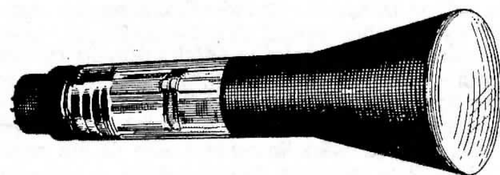
Katodne zrake, koje izlaze iz katode katodne elektronke, moraju se tako sakupiti, da na zastoru nastane malena svijetla mrlja. Skupljanje katodnih zraka vrši se pomoću *uzbudne rešetke (Wehneltovog cilindra)*, koja obuhvaća katodu i ima negativni prednapon. Budući da na ovaj način postignuto skupljanje katodnih zraka još nije dovoljno, umeće se između anode i uzbudne rešetke cilindar s rupom koji ima pozitivni prednapon. Ovaj uređaj skuplja tako katodne zrake da na zastoru nastaje približno jedna tačka. Zbog sličnosti ovog načina s proizvođenjem svijetle mrlje pomoću optičkih leća naziva se uređaj za skupljanje katodnih zraka pomoću električkih odnosno magnetskih polja *elektronska optika;* uređaji koji služe za ovu svrhu, nazivaju se *električke odnosno magnetske leće.* Ako se katodna elektronka ispuni plemenitim plinom niskoga tlaka, može se skupljanje katodnih zraka u jednu tačku postići i bez pozitivnog cilindra; skupljanje katodnih zraka vrši se u ovom slučaju pomoću procesa ionizacije u plinu.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto je kod katodne elektronke potrebno u dovoljno velikoj mjeri skupiti katodne zrake? *Odgovor:* Zato da na svijetlećem zastoru nastane oštro ograničena i što manja svijetla mrlja. — *P.:* Kako se vrši skupljanje katodnih zraka? *O.:* Pomoću uzbudne rešetke (Wehneltovog cilindra), koja obuhvaća katodu i ima negativni prednapon. — *P.:* Da li ovako postignuto skupljanje katodnih zraka praktički zadovoljava? *O.:* Ne, snop katodnih zraka još se širi. — *P.:* Kako se katodne zrake mogu na zastoru skupiti u jednu tačku? *O.:* Pomoću cilindra s pozitivnim naponom, koji se umetne između uzbudne rešetke i anode. — *P.:* Koliki mora biti pozitivni prednapon ovog cilindra? *O.:* Manji nego pozitivni napon anode. — *P.:* Od kojih se dijelova sastoji unutarnja konstrukcija katodne elektronke, koja je prikladna za oscilografske i televizijske svrhe? *O.:* Od žarne niti, katode, uzbudne rešetke (Wehneltovog cilindra), cilindra, anode, dvaju parova otklonskih ploča i svijetlećeg zastora. — *P.:* S čime se može usporediti proces skupljanja katodnih zraka? *O.:* S proizvođenjem svijetle mrlje pomoću optičkih leća. — *P.:* Kako se prema tome naziva uređaj za skupljanje katodnih zraka pomoću električkih, odnosno magnetskih polja? *O.:* Elektronska optika. — *P.:* Može li se skupljanje katodnih zraka postići i na koji drugi način? *O.:* Može; pomoću katodnih elektronki punjenih plinom. — *P.:* U čemu se razlikuje konstrukcija plinom punjene katodne elektronke od visokovakuumske katodne elektronke? *O.:* Kod plinom punjene katodne elektronke nema pozitivnog cilindra. — *P.:* Kako djeluje plinsko punjenje? *O.:* Uslijed procesa ionizacije dolazi do priklanjanja katodnih zraka prema osi elektronke, tako da se zrake sijeku približno u jednoj tački svijetlećeg zastora.

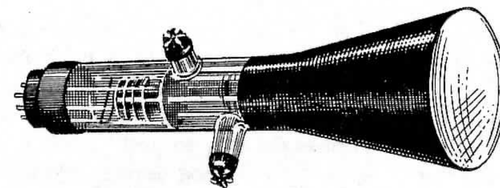
208. — Katodne elektronke koje proizvode različite tvrtke, u principu imaju oblik prikazan na sl. 195. No ima i posebnih izvedbi, o kojima nećemo pobliže govoriti. Mi ćemo ukratko opisati dvije praktičke izvedbe

modernih katodnih elektronki, koje se upotrebljavaju za oscilografske svrhe. Na sl. 197. vidimo jednu visokovakuumsku katodnu elektronku (E 107) koja ima ukupnu dužinu 225 mm. U cilindričnom dijelu elektronke, koji ima promjer 40 mm, smještene su kao na sl. 195. sve elektrode (žarna nit, katoda, elektronska optika, anoda, otklonske ploče). Sve elektrode spojene su s nožicama nožišta koje se vidi na lijevom kraju elektronke. Svijetleći zastor (desno) ima promjer oko 75 mm; praktički iskoristivi promjer zastora iznosi oko 60 mm. *Svijetleći zastor katodne* elektronke sastoji se od kemijskih spojeva, kojima se dodaje mala količina bakra ili drugih metala, sve se pomiješa s nekim veznim sredstvima i nanese stanovitim postupkom na unutarnju stranu balona elektronke. B o j a fluorescentnog svjetla ovisi prije svega o kemijskom sastavu svijetlećeg zastora. Za promatranje većinom se upotrebljava z e l e n o ili b i j e l o fluorescentno svjetlo, a za fotografska snimanja p l a v o svjetlo. C i n k o v s u l f i t daje žuto do žutozelene slike, c i n k o v s i l i k a t zelenkaste, c i n k o k a d m i j e v s u l f i d žute, k a l c i j e v v o l f r a m a t plave, k a d m i j e v v o l f r a m a t plavožute, a m a n g a n o v s i l i k a t crvene slike. Istosmjerni anodni napon kod katodne elektronke prikazane na sl. 197, iznosi 500 do 1 000 V, pozitivni napon cilindra elektronske optike oko 1/5 anodnog napona, otklonska osjetljivost para ploča, koje su na strani katode, oko 0,50 mm/V, a para ploča na strani svijetlećeg zastora oko 0,37 mm/V, uz anodni napon od 650 V. *Otklonska osjetljivost* od 0,50 mm/V znači, da se svijetla mrlja uz otklonski istosmjerni napon od 1 V otkloni na zastoru za 0,50 mm. Ako otklon treba na primjer da iznosi 10 mm, tada otklonski istosmjerni napon mora biti 10/0,50 = 20 V. Jedna ploča svakog otklonskog para ploča spojena je u unutrašnjosti elektronke s anodom. Druge ploče, na koje se priključuje otklonski napon, spojene su i s pomoćnim elektrodama da se u svakom slučaju dobije jednolična oštrina slike i da slika na zastoru bude pravokutna. Zbog svojih malenih dimenzija ugrađuje se opisana katodna elektronka u p r i j e n o s n e oscilografe (vidi odsjek 221).



Sl. 197.

209. — Na sl. 198. vidimo jednu veću visokovakuumsku elektronku (E 113); njezina je dužina 450 mm, a promjer svijetlećeg zastora oko 130 mm. Istosmjerni anodni napon iznosi kod ove katodne elektronke od 1 000 do 4 000 V, a pozitivni napon cilindra 1/5 anodnog napona. Otklonske ploče priključene su na nožišta, koja se nalaze na bočnim izdancima; između izdanaka na slici se vide parovi ploča. Sve ostale elektrode priključene su na nožice nožišta, koje se nalazi na lijevom kraju elektronke. Otklonska osjetljivost ploča na strani katode iznosi oko 0,10 mm/V, a onih na strani zastora oko 0,08 mm/V, uz anodni napon od 4 000 V. I kod ove katodne elektronke svaki par ploča ima jednu pomoćnu elektrodu, tako da se otklonski parovi ploča mogu po želji spojiti simetrično ili se mogu jednostrano uzemljiti.



Sl. 198.

Ponavljanje

Upoznali smo dvije praktičke izvedbe modernih katodnih elektronki za oscilografske svrhe. S v i j e t l e ć i z a s t o r katodne elektronke sastoji se od kemijskih spojeva, o kojima ovisi b o j a fluorescentnog svjetla; za promatranje većinom se odabire zeleno ili bijelo fluorescentno svjetlo, a za fotografska snimanja plavo. O t k l o n s k a o s j e t l j i v o s t otklonskog para ploča je onaj otklon, za koji se otkloni svijetla mrlja na zastoru, ako se istosmjerni otklonski napon promijeni za 1 V (uz stanoviti istosmjerni anodni napon).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Od čega se sastoji svijetleći zastor katodne elektronke? *Odgovor:* Od kemijskih spojeva koji dodavanjem bakra ili drugih metala naročito dobro fluoresciraju. — *P.:* O čemu ovisi boja fluorescentnog svjetla na svijetlećem zastoru? *O.:* O kemijskom sastavu zastora. — *P.:* Koje se boje naročito često upotrebljavaju? *O.:* Za promatranje zelena ili bijela, a za fotografska snimanja plava. — *P.:* Što znači ovaj podatak: otklonska osjetljivost para otklonskih ploča neke katodne elektronke iznosi 0,40 mm/V uz anodni napon od 1 000 V? *O.:* Znači: uz anodni napon od 1 000 V i otklonski istosmjerni napon od 1 V otkloni se svijetla mrlja na svijetlećem zastoru za 0,40 mm iz svog položaja mirovanja.

Pitanja

84. Kako se na najjednostavniji način može regulirati svjetlina mrlje na svijetlećem zastoru katodne elektronke?

85. Što su električke, odnosno magnetske leće?

86. Koju vrijednost ima tlak plina u visokovakuumskoj katodnoj elektronki?

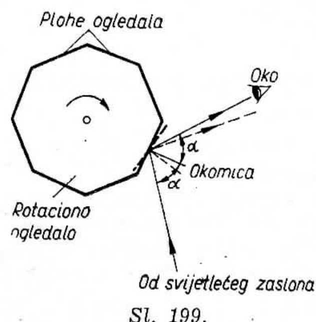
Zadaci

61. U nekoj katodnoj elektronki se uz anodni napon od 2 000 V i istosmjerni otklonski napon od 25 V svijetla mrlja otkloni na zastoru

za 12 mm: a) Kolika je otklonska osjetljivost dotičnog para otklonskih ploča? b) Koliki mora biti otklonski napon, ako otklon svijetle mrlje treba da iznosi 18 mm?

Proizvođenje relaksacionih titraja

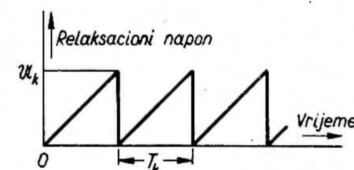
210. — Ako se na jedan par otklonskih ploča neke katodne elektronke priključi izmjenični napon, tada na svijetlećem zastoru nastane svijetleća crta; polovica dužine ove crte je mjera za tjemenu vrijednost priključenog izmjeničnog napona (vidi odsjek 203). No iz ove slike ne može se vidjeti *vremenski* tok, to jest o b l i k k r i v u l j e izmjeničnog napona. Budući da katodna elektronka treba da posluži upravo za zorno predočivanje ili crtanje visokofrekventnih i niskofrekventnih titrajnih procesa, mora postojati mogućnost za v r e m e n s k o o t k l a n j a n j e, to jest za vremensko razvlačenje slike, koju na svijetlećem zastoru proizvodi svijetla mrlja. Ovo se na najjednostavniji način postiže pomoću rotirajućeg ogledala. Ako svjetlo, koje izlazi iz vertikalne svijetleće crte, pada na okomitu plohu rotirajućeg zrcala (sl. 199), tada se ono od ove plohe reflektira i dolazi u oko. Budući da zrcalo rotira, reflektirana zraka svijetla se giblje (na sl. 199 crtkano). Oko, dakle, vidi promjene položaja svijetle mrlje, koje slijede v r e m e n s k i j e d n a i z a d r u g e, kao p r o s t o r n i slijed promjena j e d n e p o r e d d r u g e. Ako rotirajuće zrcalo ima prikladan broj okretaja, koji je ovisan o broju ploča ogledala i o frekvenciji izmjeničnog napona, tada se na rotirajućem ogledalu vidi o b l i k k r i v u l j e napona. Kod dovoljno velike udaljenosti rotirajućeg zrcala od svijetlećeg zastora (3 do 6 m) i kod visokog broja okretaja, mogu se i kod frekvencije od 1 MHz vidjeti sve pojedinosti krivulje.



Sl. 199.

211. — Umjesto m e h a n i č k o g vremenskog otklanjanja pomoću rotirajućeg ogledala danas se gotovo redovito primjenjuje *električko vremensko otklanjanje.* Kod ovog načina se katodna zraka u z d u ž h o r i z o n t a l n e X - o s i periodično vodi tamo i natrag po svijetlećem zastoru. Ovo se postiže tako, da se na par ploča za horizontalno otklanjanje P_1 — P_2 na sl. 195, dovede prikladni napon, dok se paru ploča za vertikalno otklanjanje P_3 — P_4 privede mjereni izmjenični napon. Tako nastaje *vremenska os* kao apscisa, preko koje se crta mjereni izmjenični napon. Napon na paru ploča za horizontalno otklanjanje raste periodično do najviše vrijednosti, a zatim što je moguće brže pada na vrijednost nula. Krivulja napona za vremensko otklanjanje ima prema tome tok

prikazan na sl. 200. Ovaj napon, koji nije sinusoidan, nego ima oblik zubaca pile, zove se *relaksacioni napon,* odnosno *relaksacioni titraji.* Naročito je važno da vraćanje svijetle mrlje u položaj mirovanja, dakle padanje napona na nulu, bude vanredno brzo, kako u promatranju ne bi nastao prekid i kvarenje slike uslijed traga svijetle mrlje. Prednost električkog vremenskog otklanjanja pomoću relaksacionih titraja sastoji se u tome, što se i kod istraživanja v i s o k o f r e k v e n t n i h titrajnih procesa mogu na zastoru dobiti savršeno m i r n e krivulje. Ovo se postiže onda, kada je *relaksaciona frekvencija* f_k (broj »zubaca« u sekundi) jednaka frekvenciji mjerenog izmjeničnog napona ili cjelobrojnom višekratniku od ove. Na sl. 200, naznačeno je trajanje $T_k = 1/f_k$ jednog cijelog relaksacionog titraja. Ako je na primjer relaksaciona frekvencija jednaka p o l o v i n i frekvencije mjerenog napona, tada se na svijetlećem zastoru pojavljuju d v a cijela titraja izmjeničnog napona. Za istraživanje visokofrekventnih i niskofrekventnih titrajnih procesa općenito je dovoljno da relaksacione frekvencije iznose od kojih 10 Hz pa do 200 000 Hz; pri tome *amplituda relaksacionog titraja* U_k (vidi sl. 200) mora biti tako velika, da se katodna zraka otklanja skoro do ruba svijetlećeg zastora. Uz ove uvjete mogu se bez poteškoća na svijetlećem zastoru istraživati još i visokofrekventni titraji od nekoliko MHz.



Sl. 200.

Ponavljanje

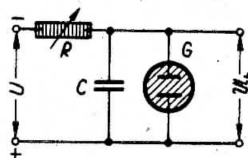
Da se može istraživani izmjenični napon promatrati pomoću katodne elektronke, mora se slika, koju svijetla mrlja proizvodi na zastoru, *vremenski* »razvući«. U najjednostavnijem slučaju ovo se postiže *rotirajućim zrcalom,* pomoću kojeg se promjene položaja svijetle mrlje, koje slijede vremenski jedna iza druge, pretvore u prostorni slijed jedne pored druge. Bolji rezultati postižu se pomoću e l e k t r i č k o g vremenskog otklanjanja. Kod ovog se katodna zraka vodi uzduž horizontalne X-osi periodično i r a z m j e r n o v r e m e n u preko svijetlećeg zastora tamo i natrag. Vraćanje katodne zrake mora biti mnogo brže nego otklanjanje iz položaja mirovanja. Ovo se postiže tako da se na horizontalni otklonski par ploča priključi pilasti *relaksacioni napon.* Ako je relaksaciona frekvencija jednaka frekvenciji mjerenog izmjeničnog napona ili jednaka cjelobrojnom višekratniku od ove, tada se još i kod frekvencija od nekoliko MHz dobivaju na svijetlećem zastoru savršeno mirne slike.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Pomoću čega se na svijetlećem zastoru katodne elektronke može dobiti oblik krivulje mjerenog izmjeničnog napona? *Odgovor:* Pomoću vremenskog otklanjanja. — *P.:* Kako se vrši vremensko otklanjanje na najjednostavniji način? *O.:* Pomoću rotirajućeg zrcala. — *P.:* Kako djeluje rotirajuće zrcalo? *O.:* Promjene položaja svijetle mrlje, koje slijede vremenski jedna iza druge, rotirajuće zrcalo pretvara u pro-

stomi slijed promjena jedne pored druge. — *P.*: Na koji se način vremensko otklanjanje većinom vrši? *O.*: Na električki način. — *P.*: Na koji način se vrši električko vremensko otklanjanje? *O.*: Katodna zraka se periodično i razmjerno vremenu kreće amo-tamo preko zastora u smjeru horizontalne X-osi. — *P.*: Kako se dobiva ovo gibanje katodne zrake? *O.*: Pomoću napona na paru ploča za horizontalno otklanjanje. — *P.*: Kako se ovaj napon mora vremenski mijenjati? *O.*: Napon mora razmjerno vremenu rasti, a zatim se mora što brže prekinuti. — *P.*: Kako se naziva ovakav napon? *O.*: Relaksacioni napon. — *P.*: Kolika mora biti relaksaciona frekvencija da se na svijetlećem zastoru dobiju mirne slike? *O.*: Relaksaciona frekvencija mora biti isto tolika, kolika i frekvencija mjerenog izmjeničnog napona, ili jednaka cjelobrojnom višekratniku ove frekvencije.

212. — Za proizvođenje relaksacionih titraja može se u najjednostavnijem slučaju upotrijebiti spoj prikazan na sl. 201. Iz izvora istosmjernog napona preko promjenljivog otpora *R* nabija se na napon *U* kondenzator *C*. Napon na kondenzatoru *C* raste tako dugo, dok ne postigne vrijednost napona paljenja tinjalice *G*, kada se tinjalica upali. Upaljena tinjalica predstavlja malen otpor, preko kojeg se kondenzator *C* brzo izbije. Pri tome napon na kondenzatoru brzo padne, ali samo do napona gašenja[24]) tinjalice. Sada se tinjalica ugasi, kondenzator se ponovo nabija i opisani proces se ponavlja. Na ovaj način dobivamo dakle *relaksacioni napon* s tjemenom vrijednošću $\mathfrak{U}_k$, jer napon na kondenzatoru raste, a zatim nakon paljenja tinjalice naglo pada. Porast napona nije, međutim, razmjeran vremenu, jer se nabijanje kondenzatora, kao što je poznato, vrši po e k s p o n e n c i j a l n o m zakonu (vidi dio I, odsjek 18. i sl. 21). Prema tome se dobiva relaksacioni napon prikazan na sl. 202, a ne onakav kakav želimo (sl. 200). T j e m e n a v r i j e d n o s t $\mathfrak{U}_k$ relaksacionog napona (amplituda relaksacionog napona) jednaka je razlici između napona paljenja U_Z i napona gašenja U_L, dakle $\mathfrak{U}_k = U_Z - U_L$. *Relaksaciona frekvencija* $f_k = 1/T_k = 1/(t_a + t_e)$, ($t_a$ = vrijeme nabijanja, a t_e = vrijeme izbijanja kondenzatora; vidi sl. 202), ovisi o vremenskoj konstanti $R \cdot C$, naponu U, naponu paljenja U_Z, naponu gašenja U_L i srednjem unutarnjem otporu R_i tinjalice za vrijeme izbijanja; na osnovu izvoda, koji ćemo ovdje mimoići, dobiva se:



Sl. 201.

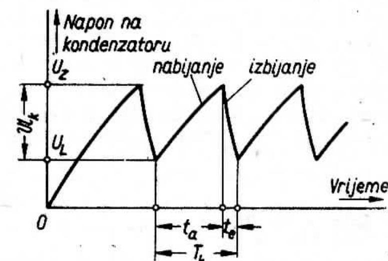
$$f_k = \frac{1}{R \cdot C \cdot \ln \dfrac{U - U_L}{U - U_Z} + R_i \cdot C \cdot \ln \dfrac{U_Z}{U_L}} \qquad (35)$$

Ovdje R i R_i treba uvrstiti u [Ω], C u [F], U, U_L i U_Z u [V], da se dobije f_k u [Hz]. Budući da je vrijeme izbijanja t_e kondenzatora mnogo manje

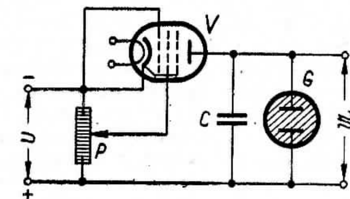
[24]) Napon gašenja tinjalice, dakle napon kod kojeg tinjalica više ne gori, uvijek je, ovisno o vrsti tinjalice, n i ž i od napona paljenja.

od vremena nabijanja, može se većinom bez veće pogreške t_e prema t_a *zanemariti*. Tada u jedn. (35) drugi sumand u nazivniku otpada. Time se pojednostavnjuje i z r a č u n a v a n j e vrijednosti za f_k, a naročito i z r a č u n a v a n j e vrijednosti za *R*, odnosno *C*, ako je f_k dano.

213. — Da se dobije relaksacioni napon, koji je r a z m j e r a n v r e m e n u, dakle s linearnim porastom, smije se praktički iskoristiti samo jedan dio krivulje nabijanja kondenzatora. Dovoljno maleni dijelovi krivulje nabijanja mogu se naime smatrati kao približno pravocrtni, to jest kao razmjerni vremenu. No tada se dobivaju maleni relaksacioni naponi, koji se u većini slučajeva moraju još pojačati. Ako, međutim, omski otpor *R* (vidi sl. 201) nadomjestimo *pentodom V*, dobivamo relaksacioni spoj (sl. 203), koji daje već sasvim dobar, vremenu razmjeran porast krivulje relaksacionog napona. Budući da je naime anodna istosmjerna struja kod pentode iznad stanovitog napona praktički neovisna o anodnom istosmjernom naponu (vidi dio II, odsjek 121, i sl. 87), kondenzator *C* nabija se strujom k o n s t a n t n e jakosti, te napon na kondenzatoru raste r a z m j e r n o v r e m e n u. Potenciometrom *P* određuje se napon zaštitne, odnosno zaslonske rešetke; mijenjanjem ovog napona regulira se anodna istosmjerna struja, a time i struja nabijanja kondenzatora, na pravu vrijednost. Ako su *C* kapacitet relaksacionog kondenzatora u [F], C_0 kapacitet pentode uključivši kapacitet dovoda i eventualni kapacitet spojeva u [F], R_i srednji unutarnji otpor tinjalice za vrijeme izbijanja u [Ω], *U* priključeni napon u [V], U_Z napon paljenja u [V], U_L napon gašenja u [V], I_s struja zasićenja pentode u [A], a I_0 jakost struje koja za vrijeme izbijanja teče kroz pentodu i kondenzator u [A], tada je relaksaciona frekvencija f_k:



Sl. 202.



Sl. 203.

$$f_k = \frac{1}{\dfrac{(C + C_0)(U_Z - U_L)}{I_s - I_0} + R_i \cdot C \cdot \ln \dfrac{U_Z}{U_L}} \qquad (36)$$

I ovdje se, kao i u jedn. (35), drugi sumand u nazivniku može većinom izostaviti, jer on predstavlja vrijeme izbijanja kondenzatora, koje je mnogo manje nego vrijeme nabijanja.

Ponavljanje

Najjednostavniji *relaksacioni spoj* radi s kondenzatorom koji se preko jednog otpora iz izvora istosmjernog napona nabija, i preko t i n j a l i c e, koja je kondenzatoru spojena paralelno, izbija. Na kondenzatoru nastaje relaksacioni napon, kojeg je tjemena vrijednost jednaka razlici između napona paljenja i napona gašenja tinjalice. Relaksaciona frekvencija ovisi između ostaloga i o vremenskoj konstanti kozndenzatora. Porast relaksacionog napona nije međutim, proporcionalan vremenu, nego slijedi eksponencijalni zakon. Ako se otpor, kroz koji se kondenzator nabija, nadomjesti p e n t o d o m, dobiva se relaksacioni spoj, kod kojeg je porast napona proporcionalan vremenu.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Nacrtaj najjednostavniji spoj za proizvođenje relaksacionih titraja! *Odgovor:* Vidi sl. 201. — *P.:* Kako nastaje relaksacioni napon na kondenzatoru ovog spoja? *O.:* Kad se kondenzator preko otpora nabije na napon paljenja tinjalice, tinjalica se upali; tada se kondenzator preko tinjalice izbija, pri čemu napon na kondenzatoru padne na vrijednost napona gašenja tinjalice. — *P.:* Kolika je amplituda tako nastalih titranja? *O.:* Jednaka je razlici između napona paljenja i napona gašenja tinjalice. — *P.:* O čemu ovisi relaksaciona frekvencija? *O.:* O vremenskoj konstanti kondenzatora, srednjem unutarnjem otporu tinjalice za vrijeme izbijanja, o istosmjernom naponu i o naponu paljenja i gašenja tinjalice. — *P.:* Kakav nedostatak ima jednostavni relaksacioni spoj s tinjalicom? *O.:* Porast relaksacionog napona nije proporcionalan vremenu, nego je eksponencijalan. — *P.:* Kako se može dobiti vremenu proporcionalan porast relaksacionog napona? *O.:* Iskorištavanjem samo malenog, praktički pravocrtnog dijela krivulje nabijanja kondenzatora, ili još bolje nadomještanjem otpora pentodom. — *P.:* Zbog čega se pomoću pentode može dobiti porast relaksacionog napona, koji je praktički vremenu proporcionalan? *O.:* Iznad stanovite vrijednosti napona je istosmjerna anodna struja pentode praktički neovisna o istosmjernom anodnom naponu; zbog toga se kondenzator relaksacionog spoja nabija strujom konstantne jakosti. — *P.:* Kako se kod toga anodna istosmjerna struja regulira na najpovoljniju vrijednost? *O.:* Pomoću potenciometra u krugu zaslonske, odnosno zaštitne rešetke pentode.

Pitanja

87. Kakav oblik ima krivulja relaksacionog napona koja ima najpovoljniji tok?

88. Kolika mora biti amplituda relaksacionog napona kod katodne elektronke?

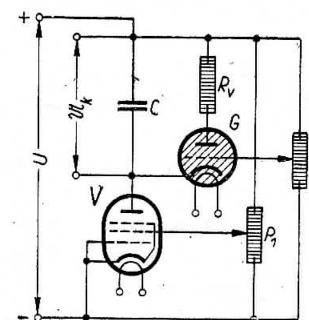
89. Nacrtaj shemu relaksacionog spoja kod kojega je porast relaksacionog napona proporcionalan vremenu!

Zadaci

62. Neki titraji, koji se istražuju pomoću katodne elektronke, imaju frekvenciju 50 kHz; a) Kolika mora biti relaksaciona frekvencija, pa da se na svijetlećem zastoru pojavi 10 cijelih titraja? b) Koliko se cijelih titraja vidi na svijetlećem zastoru, ako je relaksaciona frekvencija 25 kHz?

63. Pomoću jednostavnog relaksacionog spoja potrebno je proizvesti relaksacione titraje frekvencije 600 Hz. Otpor preko kojeg se kondenzator nabija iznosi 0,1 MΩ, istosmjerni napon 220 V, a napon paljenja, odnosno gašenja tinjalice 150 V, odnosno 165 V. a) Kolika je tjemena vrijednost relaksacionog napona? b) Koliki mora biti kapacitet kondenzatora, ako se vrijeme izbijanja kondenzatora prema vremenu nabijanja može zanemariti?

214. — Relaksacioni spojevi s tinjalicom, o kojima smo dosad govorili, imaju nedostatak, da kod njih tjemena vrijednost relaksacionog napona iznosi samo nekoliko volta. Znatno veći relaksacioni naponi mogu se dobiti tako, da se na mjesto jednostavne tinjalice upotrijebi *plinom punjena trioda* (zvana također *tiratron*). Ovakva elektronka je u principu građena jednako kao i obična visokovakuumska trioda; no ona je punjena plemenitim plinom niskog tlaka. Kod stanovitog napona između anode i katode tiratrona dolazi do ionizacije plina, tako da se tiratron upali. Napon paljenja ovisi o negativnom prednaponu rešetke. Što je veći negativni prednapon, to je potreban veći anodni napon za paljenje. Na ovaj način se mogu postići naponi paljenja od nekoliko stotina volta, a kod naročitih izvedbi tiratrona štaviše i od nekoliko kilovolta[25]). Kako je osim toga napon gašenja plinom punjene triode dosta nizak (oko 20 V), dobivaju se relaksacione amplitude, koje su u svakom slučaju dovoljno velike za uzbuđivanje katodnih elektronki. Na sl. 204. vidimo osnovnu shemu relaksacionog spoja s tiratronom i pentodom. Tiratron *G* služi kao e l e k t r o n k a z a i z b i j a n j e, a pentoda *V* z a n a b i j a n j e (usporedi spoj na sl. 203). Ove elektronke su spojene u seriju i priključene na istosmjerni napon *U*. *C* je poznati kondenzator (relaksacioni kondenzator), koji se periodično nabija i izbija; otpor *R* ograničuje struju izbijanja i zaštićuje tiratron *G* od prejakih struja izbijanja. Pomoću potenciometra P_2 može se negativni prednapon rešetke tiratrona, a time i veličina relaksacionih napona, u širokom području napona regulirati; što je više klizač od P_2 pomaknut prema dolje, to je veći negativni prednapon rešetke i veća relaksaciona amplituda U_k. Potenciometrom P_1 regulira se, kao i na sl. 203, jakost anodne struje pentode *V*, odnosno jakost struje nabijanja kondenzatora, a istodobno se njime *fino regulira relaksaciona frekvencija* (vidi jedn. (36); *grubo reguliranje relaksacione frekvencije* u praksi se većinom vrši ukapčanjem različitih kondenzatora *C*.

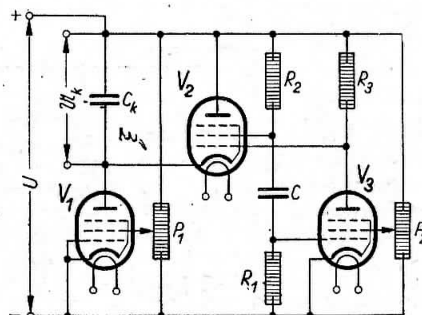


Sl. 204.

[25]) Pomoću rešetke tiratrona ne može se na anodnu struju djelovati »uzbudno« kao kod običnih elektronki, nego se može samo utjecati na tačku paljenja!

215. — Upotrebom plinom punjenih elektronki određena je ujedno i najviša relaksaciona frekvencija. Kako su naime ioni plina znatno tromiji nego elektroni, ne može se kondenzator po volji brzo preko tiratrona izbiti. Nadalje je potrebno, da prođe stanovito vrijeme dok se tiratron opet »razionizira«, i time postigne tako visok unutarnji otpor da perioda nabijanja kondenzatora može iznova početi. Pomoću jednostavnih tinjalica mogu se proizvesti relaksacione frekvencije do najviše 5 kHz, a pomoću naročitih izvedbi do kojih 12 kHz. Tiratronom dolazimo u najboljem slučaju do relaksacionih frekvencija od kojih 150 kHz. Za proizvođenje relaksacionih titraja još viših frekvencija moraju se umjesto »ionskih elektronki« upotrijebiti »elektronke«, dakle visokovakuumske elektronke.

216. — Na sl. 205. vidi se shema relaksacionog spoja koji radi isključivo s visokovakuumskim elektronkama (pentodama). Relaksacioni kondenzator C_k nabija se kao i kod spoja na sl. 204. preko elektronke V_1, pri čemu potenciometar P_1 služi za fino reguliranje relaksacione frekvencije (vidi odsjek 214). Paralelno kondenzatoru C_k spojena je visokovakuumska elektronka, i to pentoda V_2, preko koje se kondenzator izbija. Prije nego počne nabijanje kondenzatora C_k, ima uzbudna rešetka elektronke V_2, koja je preko otpora R_3 spojena s plus-vodom, visok negativni napon prema katodi ove elektronke; katoda je naime preko kondenzatora C_k spojena s plus-vodom i ima prema tome zbog influentnog djelovanja pozitivan potencijal. Stvarni uzbudni napon rešetke elektronke V_2 prema plus-vodu određen je padom napona na otporu R_3. Zbog visokog negativnog prednapona uzbudne rešetke ne teče ispočetka kroz elektronku V_2 nikakva struja; elektronka V_2 je, dakle, »zakočena«. Prema tome na kondenzator C dolazi preko otpora R_1 i R_2 pun istosmjerni napon U. Ako sada započne nabijanje kondenzatora C_k preko elektronke V_1, tada donja ploča ovog kondenzatora, a time i s njom spojena katoda elektronke V_2, postaje sve manje pozitivna prema plus-vodu, jer elektroni stalno struje na donju ploču. Zbog toga napon između uzbudne rešetke i katode elektronke V_2 postaje sve manji, i na koncu je jednak nuli. Sada počinje da teče anodna struja elektronke V_2. Istodobno počinje teći i struja zaslonske rešetke elektronke V_2. Kondenzator C se iz-



Sl. 205.

bija preko otpora R_1, pri čemu struja izbijanja proizvodi na ovom otporu pad napona; donji kraj otpora R_1 postane pozitivan, a gornji kraj negativan. Ovaj pad napona istodobno je negativni prednapon pomoćne elektronke (pentode) V_3 i ima takvu vrijednost, da se elektronka V_3 zakoči. U ovom momentu postane i pad napona na otporu R_3 manji, odnosno jednak nuli, tako da je sada uzbudna rešetka elektronke V_2 jako pozitivna prema svojoj katodi. Zbog toga znatno poraste anodna struja elektronke V_2; kondenzator C_k se sada brzo izbije preko unutarnjeg otpora elektronke V_2. Izbijanje kondenzatora C_k traje tako dugo, dok napon na njemu ne postane tako malen, da anodna struja elektronke V_2 prestane teći. Tako se dolazi opet u početno stanje: kondenzator C nabija se ponovo na puni napon U, elektronka V_2 se zakoči, kondenzator C_k se nabija itd. Potenciometrom P_2 može se regulirati negativni prednapon uzbudne rešetke elektronke V_2, a prema tome i relaksaciona amplituda U_k. U ovom spoju upotrebljavaju se kao elektronke za nabijanje i izbijanje i kao pomoćna elektronka općenite pentode (na primjer AL 4, EL 12). Tada se mogu uz anodne napone od 600 do 700 V dobiti relaksacione frekvencije do kojih 500 kHz s amplitudama od nekoliko stotina volta.

Ponavljanje

Relaksacioni spojevi, koji rade s jednostavnim tinjalicama kao elektronkama za izbijanje, daju malene relaksacione amplitude. Znatno veće amplitude dobivaju se pomoću *plinom punjenih trioda (tiratrona)*. Napon paljenja tiratrona je to viši, što je veći negativni prednapon rešetke; napon gašenja tiratrona je naročito nizak. Dok se pomoću tinjalica mogu dobiti relaksacione frekvencije do kojih 5 kHz, a s naročitim izvedbama najviše do 12 kHz, dotle se tiratronom mogu proizvesti relaksacione frekvencije i do 150 kHz. Još više frekvencije dobivaju se pomoću visokovakuumskih elektronki. Mi smo upoznali relaksacioni spoj kod kojeg su upotrijebljene isključivo visokovakuumske elektronke (pentode). Takav spoj daje uz anodne napone od 600 do 700 V relaksacione amplitude od nekoliko stotina volta i relaksacione frekvencije od kojih 500 kHz.

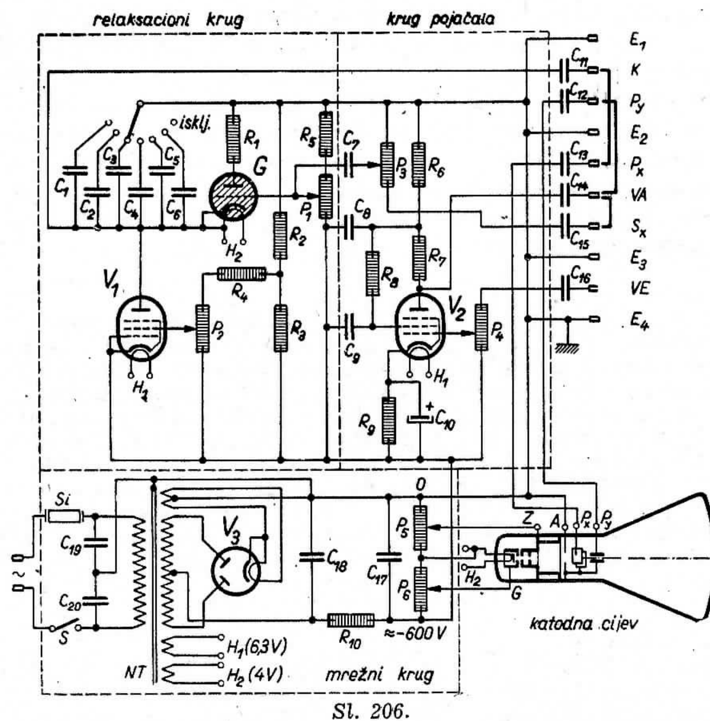
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakav nedostatak imaju relaksacioni spojevi, kod kojih su upotrijebljene jednostavne tinjalice? *Odgovor:* Mogu se proizvesti relaksacione amplitude samo od nekoliko volta s frekvencijama najviše do 5 kHz. — *P.:* Kako se mogu dobiti znatno veće relaksacione amplitude? *O.:* Upotrebom plinom punjenih trioda (tiratrona). — *P.:* Kako je građen tiratron? *O.:* U principu kao i obična trioda, jedino što je tiratron punjen plemenitim plinom niskog tlaka. — *P.:* Zašto tiratron daje velike relaksacione amplitude? *O.:* Zato što napon paljena tiratrona iznosi nekoliko stotina volta, a napon gašenja samo oko 20 V. — *P.:* O čemu ovisi napon paljenja tiratrona? *O.:* O veličini negativnog prednapona rešetke. — *P.:* Kolike se relaksacione frekvencije mogu postići tiratronom? *O.:* Do kojih 150 kHz. — *P.:* Kako se mogu proizvesti još više relaksacione frekvencije? *O.:* Pomoću visokovakuumskih elektronki. — *P.:* Kakve i koliko visokovakuumskih elektronki je upotrijebljeno u opisanom spoju? *O.:* Tri pentode, od kojih jedna radi kao elektronka za nabijanje, druga kao elektronka za izbijanje, a treća kao pomoćna elektronka. — *P.:* Ko-

like relaksacione amplitude i kolike relaksacione frekvencije daje spoj s pentodama? *O.*: Uz anodne napone od 600 do 700 V dobivaju se relaksacione amplitude od nekoliko stotina volta i frekvencije do kojih 500 kHz.

Spoj i konstrukcija jednog katodnog oscilografa

217. — U prethodnim predavanjima upoznali smo djelovanje katodnih elektronki i relaksacione spojeve. Sada ćemo govoriti o jednom iz-



Sl. 206.

vedenom primjeru *katodnog oscilografa koji radi s pogonom iz mreže.* Ovaj katodni oscilograf sastoji se od mrežnog dijela, koji dobavlja potrebne napone i struje, zatim od relaksacionog dijela i pojačala (sl. 206). *Mrežni dio* je izveden kao dvotaktni ispravljač s ispravljačicom V_3, mrežnim transformatorom *NT*, kondenzatorom $C_{18} = 4$ μF i filtrom $R_{10} = 5$ kΩ — $C_{17} = 4$ μF. Elektronka V_3 je indirektno žarena dvotaktna ispravljačica EZ 12; zbog indirektnog žarenja nastupaju pogonski naponi sa stanovitim zakašnjenjem (vrijeme užarivanja katode!), tako da za vrijeme užarivanja ne dolazi do prenapona i do preopterećenja kon-

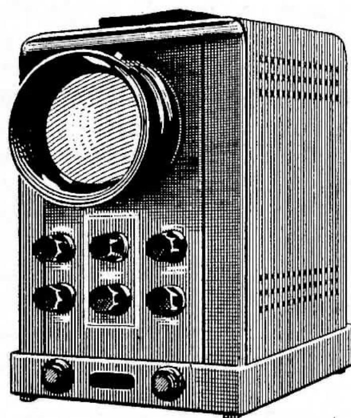
denzatora i tiratrona *G*. U ulaznom krugu mrežnog transformatora nalazi se osigurač S_i, mrežni uklopac *S* i visokofrekventni zapor $C_{19} = C_{20} = 10\,000$ pF. Anoda *A katodne elektronke* dobiva pozitivni napon od kojih 600 V. S potenciometra $P_5 = 1$ MΩ uzima se pozitivni napon za cilindar *Z* katodne elektronke; mijenjanjem ovog napona može se namjestiti najpovoljnija oštrina svijetle mrlje na svijetlećem zastoru (vidi odsjek 205). Potenciometar $P_6 = 0{,}1$ MΩ, kojeg je gornji kraj spojen s donjim krajem potenciometra P_5 i s katodom katodne elektronke, daje negativni napon za uzbudnu rešetku (Wehneltov cilindar) *G*; pomoću njega se regulira svjetlina svijetle mrlje (vidi odsjek 204). Da se spriječi utjecaj bilo kakvog štetnog napona na anodu *A* i na parove otklonskih ploča P_x i P_y, plus-pol mrežnog dijela se uzemljuje i spaja s kućištem aparata; zbog toga se filtarski otpor R_{10} nalazi u minus-vodu mrežnog dijela. Kao katodna elektronka upotrijebljena je visokovakuumska elektronka E 107 opisana u odsjeku 208. (usporedi sl. 197); ako se upotrijebi koja druga katodna elektronka, potrebno je primijeniti odgovarajući spoj.

218. — U relaksacionom krugu radi nama već poznati relaksacioni spoj s tiratronom *G* i pentodom V_1 (vidi sl. 204 i odsj. 214). Kao elektronka za izbijanje upotrijebljena je plinom punjena trioda Ph 4690, a kao elektronka za nabijanje V_1 upotrijebljena je pentoda EF 12 (čelična elektronka). Relaksacioni kondenzatori mogu se pomoću preklopnika *S* prebaciti u šest stupnjeva, dok sedmi stupanj omogućuje potpuno iskapčanje relaksacionih titraja. Kapaciteti pojedinih kondenzatora iznose: $C_1 = 100$ pF, $C_2 = 500$ pF, $C_3 = 1\,000$ pF, $C_4 = 5\,000$ pF, $C_5 = 20\,000$ pF i $C_6 = 0{,}1$ μF. Pomoću preklopnika *S* regulira se grubo relaksaciona frekvencija, i to od nekoliko Hz, pa do kojih 50 kHz. Fina regulacija relaksacione frekvencije vrši se u odnosu otprilike 1 : 50 reguliranjem struje nabijanja tiratrona *G* pomoću potenciometra $P_2 = 0{,}1$ MΩ u zaslonskoj rešetki (vidi odsjek 214). Kako je potenciometar P_2 preko otpora $R_4 = 0{,}3$ MΩ odvojak djelitelja napona $R_2 = 30$ kΩ — $R_3 = 20$ kΩ, napon zaslonske rešetke elektronke V_1 može se regulirati u području od kojih 0 do 50 V. Otpor za ograničenje struje tiratrona *G* ima vrijednost $R_1 = 500$ Ω. S potenciometrom $P_1 = 0{,}1$ MΩ, kojemu je u seriju spojen otpor $R_5 = 0{,}1$ MΩ, može se regulirati relaksaciona amplituda (vidi odsjek 214). Relaksacioni napon se preko kondenzatora $C_{11} = 0{,}5$ μF, dovodi priključnici *K*, a preko spojke, koja ovu priključnicu spaja s priključnicom P_x, i preko kondenzatora $C_{13} = 0{,}5$ μF neuzemljenoj ploči horizontalnog otklonskog para ploča P_x; na ovaj način dolazi do vremenskog otklanjanja katodne zrake (vidi odsjek 211). Nadalje se s priključnice *K* može uzeti relaksacioni napon za druge svrhe.

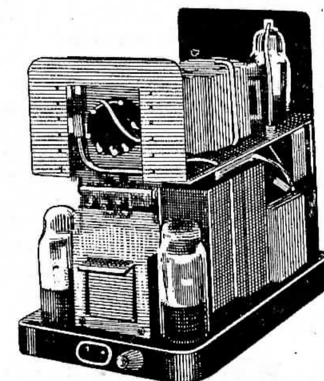
219. — Katodni oscilograf ima jednostepeno *pojačalo* s pentodom V_2 (*EF* 12). Mjerni izmjenični napon, koji treba pojačati, dovodi se na

priključnice VE i E_4, a preko kondenzatora C_{16} = 0,5 μF i potenciometra P_4 = 0,1 MΩ uzbudnoj rešetki elektronke V_2. Katodni otpor R_9 = 4 kΩ koji je premošten elektrolitskim kondenzatorom C_{10} = 25 μF služi za automatsko proizvođenje negativnog prednapona. Anodni otpor R_7 ima vrijednost oko 0,1 MΩ; R_6 = 50 kΩ — C_8 = 1 μF je poznati filtarski članak, kojim se istodobno istosmjerni anodni napon elektronke V_2 snizuje na pravu vrijednost. Napon zaslonske rešetke elektronke V_2 dobiva se s otporom R_8 = 50 kΩ koji je premošten kondenzatorom C_9 = 1 μF. Pojačani mjereni napon dolazi s anodnog kruga elektronke V_2 preko kondenzatora C_{14} = 0,5 μF na priključnicu VA, koja je spojena s priključnicom P_y, a odavle preko kondenzatora C_{12} = 0,5 μF na neuzemljenu ploču para ploča za vertikalno otklanjanje P_y. Faktor pojačanja ovog jednostepenog pojačala je toliki (oko 100), da već izmjenični naponi od nekoliko desetaka mV_{ef} daju na svijetlećem zastoru otklone, koji se dobro mogu mjeriti. Ako je potrebno raditi bez ovog pojačala, tada se mjereni napon priključi direktno na par priključnica P_y — E_2, a spojnica priključnica P_y i VA se ukloni.

220. — Da nastanu m i r n e slike mora frekvencija mjerenog napona biti jednaka cjelobrojnom mnogokratniku relaksacione frekvencije, odnosno jednaka relaksacionoj frekvenciji (vidi odsjek 211). Još je potrebno da se proces izbijanja tiratrona vrši u taktu mjerenog napona, to jest mjerena frekvencija i relaksaciona frekvencija moraju biti *sinhronizirane*. Ovo se postiže vraćanjem jednog dijela mjerenog napona na rešetku tiratrona. U našem spoju ovo se vrši spajanjem priključnica VA i S_x; pojačani mjereni napon dolazi tada preko kondenzatora C_{15} = = 0,5 μF na potenciometar P_3 = 0,5 MΩ, a jedan dio ovog napona preko kondenzatora C_7 = 0,5 μF (filtriranje eventualne komponente istosmjernog napona u mjerenom naponu!) na rešetku tiratrona G. Potenciometrom P_3 može se veličina sinhronizirajućeg napona regulirati tako, da se najpovoljniji odnos između mjerene frekvencije i relaksacione frekvencije namjesti sam od sebe. Preko priključnice S_x može se oscilografu dovesti vanjski napon za sinhroniziranje (na primjer napon mreže); ova mogućnost je za različite mjerne svrhe od velike vrijednosti.


Sl. 207.

221. — Na koncu na sl. 207. i 208. vidimo vanjski i unutrašnji izgled jednog prijenosnog katodnog oscilografa (Siemens KE 1071), kojeg se spoj, osim u nekim pojedinostima, u principu slaže sa spojem na sl. 206. Na sl. 207. gore vidimo zaštitni cilindar za svijetleći zastor katodne elektronke E 107, a ispod njega šest dugmeta za namještanje sinhronizacije, za namještanje grube i fine regulacije relaksacione frekvencije i regulacije oštrine i svjetline svijetle mrlje. Na donjem dijelu prednje ploče nalaze se osigurač, mrežni uklopac i mala tinjalica, koja pokazuje, kada je aparat ukopčan. Radi što kraćih dovoda su različite priključnice smještene na stražnjoj strani i bočno. Razmještaj dijelova vidi se na sl. 208; dijelovi mrežnog kruga [na primjer pomno okloplјeni mrežni transformator, niskofrekventna prigušnica i dvije indirektno žarene dvotaktne ispravljačice EZ 12[26])] nalaze se dolje, dok su gore s obiju strana katodne elektronke E 107 smješteni dijelovi relaksacionog kruga i pojačala, kao i njihove elektronke (na primjer tiratron PH 4690 i elektronka za nabijanje EF 14). Istosmjerni anodni napon katodne elektronke iznosi 650 V, a anodni napon relaksacionog kruga i pojačala 500 V. Relaksaciona amplituda je čvrsto namještena istosmjernim naponom od 125 V, dok se relaksaciona frekvencija može regulirati od kojih 10 Hz, pa do 120 kHz. Otklonska osjetljivost u vertikalnom smjeru iznosi uz puno pojačanje pojačala oko 37 mm/V (vidi odsjek 208); za ovo je potreban na ulazu u pojačalo napon od kojih 0,5 V_{ef}.


Sl. 208.

Ponavljanje

Upoznali smo potpuni spoj katodnog oscilografa s pogonom iz mreže, koji se sastoji od mrežnog kruga, relaksacionog kruga i pojačala. Kod ovog katodnog oscilografa postoji mogućnost reguliranja oštrine i svjetline svijetle mrlje, gruba i fina regulacija relaksacione frekvencije, regulacija relaksacione amplitude i faktora pojačanja. Nadalje postoji regulator za s i n h r o n i z a c i j u; ako je naime potrebno da se na svijetlećem zastoru dobiju mirne slike, mora se frekvencija mjerenog izmjeničnog napona i relaksaciona frekvencija s i n h r o n i z i r a t i. Ovo se vrši tako, da se jedan dio mjerenog napona dovede na rešetku tiratrona. Da se spriječe štetni utjecaji na anodu i parove otklonskih ploča, p l u s - p o l mrežnog dijela se uzemljuje.

[26]) Mrežni krug je, protivno onome na sl. 206. izveden sa d v i j e ispravljačice EZ 12 u takozvanom Greinacherovom spoju; umjesto filtarskog otpora R_{10} upotrijebljena je niskofrekventna prigušnica.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Od kojih krugova se sastoji opisani katodni oscilograf? *Odgovor:* Od mrežnog kruga, relaksacionog kruga i pojačala. — *P.*: Može li se ovaj katodni oscilograf priključiti i na mrežu istosmjerne struje? *O.*: Može, ali samo preko pretvarača. — *P.*: Kako se može spriječiti djelovanje napona smetnji na anodu i na otklonske ploče? *O.*: Oklapanjem, a također uzemljivanjem plus-pola mrežnog dijela. — *P.*: Kojoj svrsi služi pojačalo u oscilografu? *O.*: Mjereni naponi se u pojačalu pojačavaju, kako bi se na svijetlećem zastoru dobili otkloni, koji se još dobro mogu mjeriti. — *P.*: Na koji način se na svijetlećem zastoru dobivaju mirne slike? *O.*: Sinhroniziranjem frekvencije mjerenog napona i relaksacione frekvencije. — *P.*: Kako se vrši sinhroniziranje? *O.*: Tako da se jedan dio mjerenog napona dovede na rešetku tiratrona. — *P.*: Kako se regulira sinhronizacija? *O.*: Pomoću potenciometra, kojim se može namjestiti veličina sinhronizirajućeg napona.

Pitanja

90. Kako se grubo i fino regulira relaksaciona frekvencija?
91. Što je sve potrebno regulirati kod katodnog oscilografa?

Zadaci

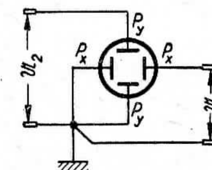
64. Kako se mora izvesti priključivanje na priključnice katodnog oscilografa sa sl. 206, ako je potrebno istraživati odnos dvaju različitih izmjeničnih napona?

65. U kojem naponskom području se može regulirati negativni prednapon katodne elektronke sa sl. 206?

Primjeri za praktičnu primjenu katodnih oscilografa

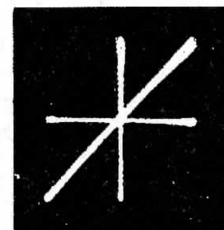
222. — Na kraju naših izlaganja o osnovima mjerne radio-tehnike navest ćemo nekoliko važnih primjera primjene katodnih oscilografa. Budući da je njihova primjena vrlo mnogostrana, ne možemo naravno ulaziti u sve metode mjerenja i istraživanja pomoću katodnih oscilografa. M i r n e slike na svijetlećem zastoru katodne elektronke mogu se snimiti svakom fotografskom kamerom. Pomoću visokoosjetljivih ploča ili filmova (na primjer Agfa ISS 21/20⁰ DIN) mogu se snimiti i takvi procesi, koji j e d a n p u t prijeđu preko svijetlećeg zastora brzinom do kojih 10 m/s. Na ovaj način snimljene su sl. 210. do 232. Najprije ćemo govoriti o primjeni katodnog oscilografa kod *mjerenja izmjeničnih napona.* O ovome smo već govorili u odsjeku 203, odakle znamo, da se priključivanjem izmjeničnog napona na jedan par otklonskih ploča dobiva pravac, kod kojeg p o l o v i n a dužine odgovara t j e m e n o j vrijednosti mjerenog izmjeničnog napona. Kod mjerenja m a l e n i h izmjeničnih napona potrebno je upotrijebiti pojačalo poznatog faktora pojačanja, da bi se na svijetlećem zastoru dobila pruga dovoljne dužine. Kod *mjerenja faznog pomaka* između dva po frekvenciji jednaka izmje-

nična napona priključuju se mjereni naponi $\mathfrak{U}_1$ i $\mathfrak{U}_2$ na ploče za horizontalno otklanjanje P_x i ploče za vertikalno otklanjanje P_y (sl. 209); pri tome se relaksacioni titraji i sinhronizacija iskopčaju. Ako fazni pomak iznosi 180⁰, tada se na svijetlećem zastoru dobiva n a d e s n o nagnuti pravac (sl. 210), dok se kod faznog pomaka od 0⁰ dobiva n a l i j e v o nagnuti pravac. Vertikalni, odnosno horizontalni pravac odgovara izmjeničnom naponu na pločama za vertikalno otklanjanje P_y, odnosno na pločama za horizontalno otklanjanje P_x



Sl. 209.

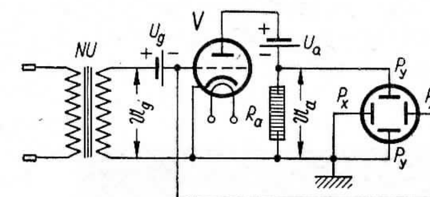
Ovakva slika se dobiva t r o s t r u k i m osvjetljivanjem fotografske ploče. Najprije se samo j e d a n izmjenični napon priključi na vertikalne, odnosno horizontalne ploče, i snimi horizontalni, odnosno vertikalni pravac; zatim se istodobno na oba para otklonskih ploča priključe o b a izmjenična napona i fotografira kosi pravac. Vertikalni i horizontalni pravac predstavlja na svijetlećem zastoru koordinate. Na sl. 211. vidimo sliku na zastoru, koja nastaje onda, ako se istodobno priključe dva izmjenična napona iste frekvencije i jednakih amplituda, ali s faznim pomakom od 22,5⁰; u ovom slučaju se dobiva e l i p s a. Ako sa φ označimo kut faznog pomaka, tada je sin φ jednak odnosu dužine vertikalnog dijela pravca unutar elipse prema dužini cijelog vertikalnog pravca; ovako se na jednostavan način dobiva traženi kut faznog pomaka.



Sl. 210.



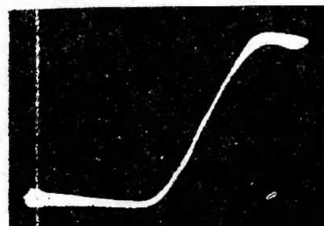
Sl. 211.



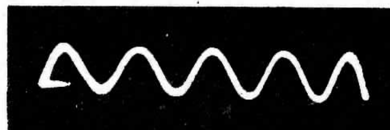
Sl. 212.

223. — Katodna elektronka se može upotrijebiti također za *snimanje karakteristika* elektronki. Na sl. 212. prikazan je spoj za snimanje radnih U_g—I_a-karakteristika trioda. Uzbudnoj se rešetki triode V preko niskofrekventnog transformatora *NU* i baterije U_g (radi namještanja ra-

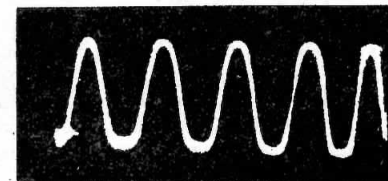
dne tačke!) dovede izmjenični napon U_g. Jednaki izmjenični napon dobivaju i horizontalne otklonske ploče. Anodni otpor triode V je omski otpor R_a, na kojemu nastaje anodni izmjenični napon U_a, koji se dovodi pločama za vertikalno otklanjanje. Istosmjerni anodni napon daje anodna baterija U_a. Izmjenični napon na rešetki U_g uzrokuje periodično h o r i z o n t a l n o otklanjanje katodne zrake. Tako se na svijetlećem zastoru dobiva horizontalni pravac koji odgovara toku napona na uzbudnoj rešetki triode. S druge strane, anodni izmjenični napon U_a otklanja katodnu zraku periodično u v e r t i k a l n o m smjeru; tako na svijetlećem zastoru nastane vertikalni pravac koji odgovara promjenama anodnog napona kod triode. Ako sada naponi U_g i U_a djeluju na oba para otklonskih ploča i s t o d o b n o, tada se na svijetlećem zastoru pojavi slika radne U_g—I_a-karakteristike triode (sl. 213). Ova karakteristika je ujedno i radna U_g—I_a karakteristika, koja dakle prikazuje ovisnost promjena anodne struje o promjenama rešetkinog napona kod triode, jer je anodni napon na otporu R_a proporcionalan jakosti anodne struje. Uz i n d u k t i v n o, odnosno k a p a c i t i v n o opterećenje anodnog kruga triode vidi se na svijetlećem zastoru e l i p s a (vidi dio II, odsjek 49). M i r n a slika dobiva se samo onda, ako su promjene rešetkinog napona i anodne struje dovoljno brze. Kao rešetkin izmjenični napon prikladan je prema tome na primjer izmjenični napon mreže s frekvencijom od 50 Hz; snimka prikazana na sl. 213. snimljena je pomoću frekvencije od nekih 1 000 Hz. Na isti način se mogu snimiti i karakteristike elektronki s više rešetki (pentoda, heksoda, oktoda itd.).

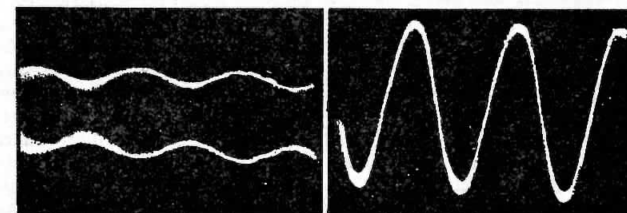

Sl. 213.

224. — Naročito važan primjer za primjenu katodnih oscilografa je *ispitivanje pojačala i prijemnika*. Iz slika, koje nastaju na svijetlećem zastoru, moguće je naime bez daljnjega vidjeti *izobličenja* izlaznog napona. Pojačalo, odnosno prijemnik, priključi se na tongenerator (na primjer treptajni tongenerator), odnosno preko umjetne antene na tonski moduliran visokofrekventni generator (mjerni odašiljač), a izlazni krug se spoji s parom ploča za vertikalno otklanjanje. Da bi se dobile mirne slike potrebno je da na pločama za horizontalno otklanjanje djeluje sinhronizirani relaksacioni napon (usporedi spoj na sl. 206). Kod ovih mjerenja treba paziti da se mjerenim naponom ulazni krug pojačala u oscilografu ne preoptereti i uzbudnoj rešetki elektronke u pojačalu ne pri-


Sl. 214.

vedu suviše veliki izmjenični naponi. Na sl. 214. i 215. vidimo na primjer oscilograme neizobličenog i izobličenog izlaznog napona (frekvencija oko 1 000 Hz) kod nekog niskofrekventnog pojačala. Izobličenje se u ovom slučaju vidi po tome, što je donji dio krivulje spljošten uslijed preuzbuđenja pojačala prevelikim ulaznim naponom. Ovdje se je s uzbuđenjem išlo predaleko u područje negativnog prednapona s onu stranu početne tačke karakteristike elektronke. Na ovaj način može se lako naći najveći dozvoljeni ulazni napon pojačala, odnosno prijemnika. Nadalje se na sl. 216. vidi oscilogram tonski moduliranih međufrekventnih titraja nekog supera, a na sl. 217. Oscilogram demoduliranih međufrekventnih titraja. U prvom slučaju je relaksaciona frekvencija bila tako niska, da


Sl. 215.


Sl. 216. *Sl. 217.*

se je na zastoru pojavilo mnogo titraja, te ih više nije bilo moguće razlučiti jednog od drugog, zbog čega je nastala p l o š n a slika. No jasno se vidi ovojnica međufrekventnih titraja koja odgovara tonfrekventnim modulacionim titrajima (niskofrekventnim titrajima). Budući da je u većini slučajeva međufrekvencija viša od najviše frekvencije koju može pojačavati pojačalo u oscilografu, međufrekventni titraji moraju se pojačati u p o s e b n o m pojačalu.

Ponavljanje

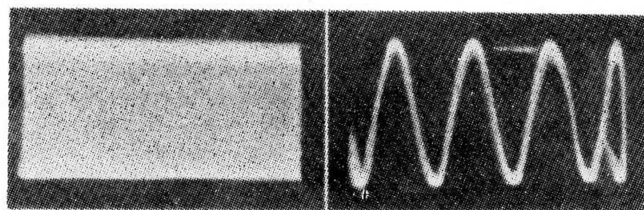
Katodni oscilograf se može upotrijebiti za *mjerenje izmjeničnih napona*. Kod *mjerenja faznog pomaka* priključuju se izmjenični naponi na oba para otklonskih ploča. Prema veličini kuta faznog pomaka dobije se na svijetlećem zastoru kosi pravac, krug ili elipsa. Katodni oscilograf je prikladan i za *snimanje karakteristika elektronki;* pri tome se izmjenični napon na rešetki ispitivane elektronke priključi na par za horizontalno otklanjanje, a anodni izmjenični napon na par ploča za vertikalno otklanjanje. Praktički naročito važan primjer za primjenu katodnih oscilografa je *ispitivanje pojačala i prijemnika* s obzirom na njihovo izobličenje. U ovom slučaju potrebno je imati tongenerator, odnosno visokofrekventni generator. Izlazni krug pojačala, odnosno prijem-

nika spoji se s pločama za vertikalno otklanjanje, dok na ploče za horizontalno otklanjanje dolazi sinhronizirani relaksacioni napon. Na ovaj način se mogu istraživati također i međufrekventni titraji, kao i niskofrekventni titraji dobiveni demodulacijom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se pomoću katodnog oscilografa mogu mjeriti izmjenični naponi? *Odgovor:* Mjereni izmjenični napon se priključi na jedan par otklonskih ploča katodne elektronke; polovina dužine pravca, koji se vidi na svijetlećem zastoru, odgovara tada tjemenoj vrijednosti mjerenog izmjeničnog napona. — *P.*: Kako se pomoću katodnog oscilografa može mjeriti kut faznog pomaka između dvaju po frekvenciji jednakih izmjeničnih napona? *O.*: Mjereni naponi se priključe na oba para otklonskih ploča; iz oscilograma se tada može izračunati kut faznog pomaka. — *P.*: Kako izgledaju ovakvi oscilogrami? *O.*: Uz fazni pomak od 0° odnosno 180°, dobiva se kosi pravac, uz 90° krug, a inače elipsa. — *P.*: Kako se pomoću oscilografa mogu snimiti karakteristike elektronki? *O.*: Izmjenični napon na rešetki ispitivane elektronke dovede se na ploče za horizontalno otklanjanje. — *P.*: Koje se karakteristike dobivaju na ovaj način? *O.*: Dobivaju se radne U_g—U_a karakteristike, odnosno radne U_g—U_a-karakteristike. — *P.*: Kakav oblik ima radna karakteristika uz induktivno, odnosno kapacitivno opterećenje anodnog kruga elektronke? *O.*: Eliptičan oblik. — *P.*: Kakav se spoj mora upotrijebiti kod istraživanja pojačala, odnosno prijemnika pomoću katodnog oscilografa? *O.*: Pojačalo odnosno prijemnik se priključi na tongenerator, odnosno preko umjetne antene na tonski moduliran visokofrekventni generator, a izlazni krug pojačala, odnosno prijemnika, spoji se s pločama za vertikalno otklanjanje; na ploče za horizontalno otklanjanje dolazi sinhronizirani relaksacioni napon. — *P.*: Osim ovoga o kakvim smo još istraživanjima na prijemnicima govorili? *O.*: O istraživanju međufrekventnih titraja, i niskofrekventnih titraja, koji se dobiju nakon demodulacije.

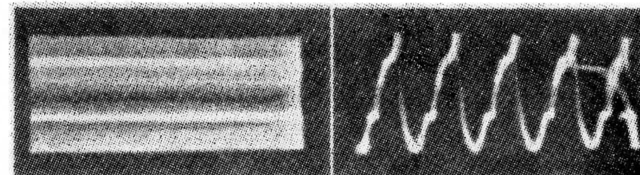
225. — Sada ćemo promotriti daljnje oscilograme o istraživanjima na visokofrekventnim i niskofrekventnim pojačalima, ne ulazeći pri to-



Sl. 218. *Sl. 219.*

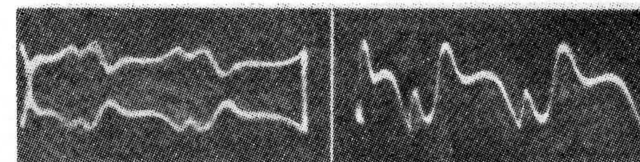
me u pojedinosti mjernih spojeva koji su za ovo potrebni. Na sl. 218. vidimo oscilogram neizobličenih nemoduliranih visokofrekventnih titraja frekvencije 100 kHz; zbog niske relaksacione frekvencije dobivena je opet plošna slika (vidi odsjek 224). Uz relaksacionu frekvenciju od 25 kHz vide se na svijetlećem zastoru četiri periode ovih visokofrekventnih titraja (sl. 219). Sl. 220. pokazuje nadalje oscilogram jako izobličenih ne-

moduliranih visokofrekventnih titraja frekvencije 100 kHz; izobličenja, koja nastaju zbog nadvalova, poznaju se na oscilogramu po svijetloj pru-



Sl. 220. *Sl. 221.*

zi. Na sl. 221. prikazano je radi poređenja pet perioda ovih visokofrekventnih titraja; jasno se vide velika odstupanja od sinusoidnog oblika.



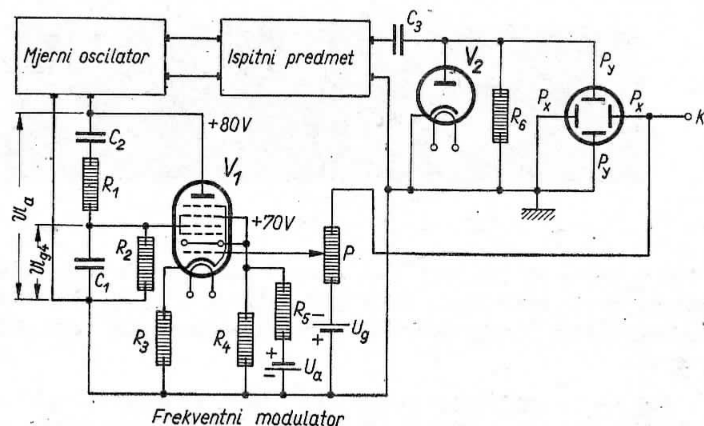
Sl. 222. *Sl. 223*

Na koncu se na sl. 222. vidi oscilogram tonski moduliranih visokofrekventnih titraja frekvencije 1 000 kHz (1 MHz), a na sl. 223. oscilogram niskofrekventnih titraja dobivenih demodulacijom ovih visokofrekventnih titraja.

226. — Za ispitivanje prijemnika i titrajnih krugova, odnosno pojasnih filtara, od vanredne je važnosti *snimanje rezonantnih krivulja* pomoću katodnih oscilografa. Rezonantna krivulja nekog titrajnog kruga prikazuje, kao što je poznato, ovisnost visokofrekventnog izmjeničnog napona, odnosno struje, o frekvenciji (usporedi na primjer dio I, sl. 75, 76, 151). Kod snimanja rezonantne krivulje potrebno je, dakle, da se frekvencija izmjeničnog napona mijenja iznad i ispod rezonantne frekvencije u stanovitom frekventnom području. Za ovo se upotrebljava *frekventno modulirani* mjerni odašiljač, to jest odašiljač kod kojeg se namještena rezonantna frekvencija izmjeničnog napona može periodično mijenjati za kojih ± 10 kHz. Ovo se može postići, na primjer, tako, da se promjenljivom kondenzatoru odašiljača paralelno spoji pomoćni promjenljivi kondenzator malenog konačnog kapaciteta. Pokretni sistem ploča pomoćnog kondenzatora okreće se jednim motorom, te se kapacitet ovog kondenzatora neprestano mijenja od najniže do najviše vrijednosti; tako se dobiva traženo mijenjanje frekvencije odašiljača. Ovu staru, mehaničku metodu frekventne modulacije u modernoj mjernoj

radio-tehnici sve više potiskuje električka metoda. Ako se naime paralelno ugodivom krugu mjernog odašiljača (L_1—C_1 na sl. 127) spoji elektronka koja djeluje kao *samoinduktivitet*, tada se može isto tako postići mijenjanje frekvencije. O načinu djelovanja elektronke kao samoinduktiviteta već smo opširno govorili u dijelu II, odsjek 322, i to kad smo opisivali automatsko ugađanje oštrine. U ovom pogledu naročito dobro radi oktoda (na primjer AK 2). Veličina samoinduktiviteta ovisi o strmini oktode; što je veća strmina, to manji je samoinduktivitet.

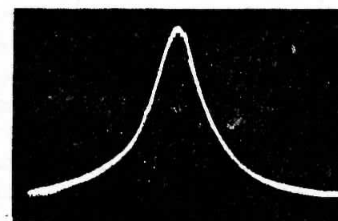
227. — Oktoda V_1 spoji se prema sl. 224. Druga uzbudna rešetka oktode (vidi dio II, sl. 207) spojena je s djeliteljem izmjeničnog napona $R_1 = 10$ kΩ — $C_1 = 120$ pF, dok na kondenzator $C_2 = 20\,000$ pF odjeljuje istosmjerni anodni napon od druge uzbudne rešetke; $R_2 = 1$ MΩ je odvodni otpor, $R_3 = 250$ Ω katodni otpor, a $R_4 = 20$ kΩ — $R_5 = 20$ kΩ je djelitelj napona za obje zaslonske rešetke i pomoćnu anodu. Ispitivani ti-



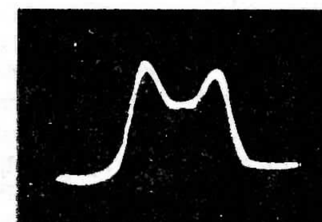
Sl. 224.

trajni krug, prijemnik ili međufrekventno pojačalo nekog supera (ispitivani objekt) priključuje se na izlazne priključnice frekventno moduliranog mjernog odašiljača, a izlazni izmjenični napon ispitivanog objekta dovodi se demodulatoru s diodom V_2 (na primjer AB 2); $C_3 = 100$ pF je poznati kondenzator demodulatora. Na otporu $R_6 = 0{,}5$ MΩ nastaje napon, koji ovisi o svojstvima ispitivanog rezonantnog kruga (ispitivanog objekta); ovaj se napon dovodi pločama za vertikalno otklanjanje P_y katodne elektronke. Vertikalna otklonska zraka pokazuje prema tome napone na titrajnom krugu, i to u frekventnom području, koje određuje frekventni modulator. Na ploče za horizontalno otklanjanje dolazi relaksacioni napon, koji se može uzeti s priključnice K katodnog oscilografa na sl. 206. (priključnice K—P_x kratko spojiti!). Jednaki relaksacioni napon dovodi se također prvoj uzbudnoj rešetki oktode V_1 preko poten-

ciometra $P = 0{,}1$ MΩ; tako se oktoda uzbuđuje u taktu relaksacione frekvencije i mijenja joj se strmina, a time se prema gornjemu mijenja i njezin samoinduktivitet, što uzrokuje periodično mijenjanje frekvencije mjernog odašiljača. Kako je u ovom spoju relaksaciona frekvencija sinhronizirana s taktom promjena frekvencije odašiljača, to se na svijetlećem zastoru dobiva mirna slika rezonantne krivulje. Da se dobije slika bez treperenja, mora relaksaciona frekvencija iznositi 30 do 50 Hz.



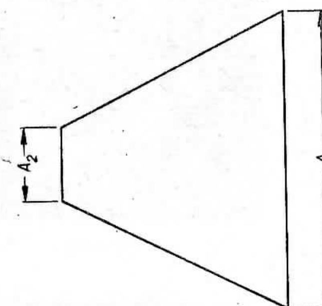
Sl. 225.



Sl. 226.

Rezonantna frekvencija mjernog odašiljača se tada modulira s frekvencijama od ± 10 kHz, i to 30 do 50 puta u sekundi. Na sl. 225. vidimo na ovaj način dobiveni oscilogram rezonantne krivulje nekog titrajnog kruga, a na sl. 226. oscilogram rezonantne krivulje jednog pojasnog filtra.

228. — Katodni oscilograf je prikladan za *ispitivanje odašiljača*, naročito za kontrolu rada. Na sl. 216, 218, 220, i 222, već smo upoznali oscilograme visokofrekventnih nemoduliranih i tonski moduliranih titraja; pri tome su visokofrekventni titraji prikazani u ovisnosti o vremenu, dakle o relaksacionom naponu. No ako mjesto relaksacionog napona upotrijebimo *modulacione niskofrekventne napone*, tada se na svijetlećem zastoru dobiva takozvani *modulacioni trapez* iz kojeg se može vidjeti rad odašiljača (sl. 227). Ako s A_1 označimo najveći, a s A_2 najmanji otklon svijetle mrlje, tada za *stupanj modulacije* m (vidi dio I, odsjek 193) vrijedi:

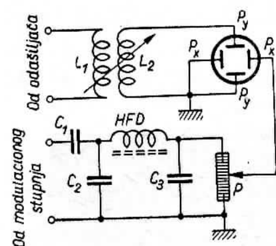


Sl. 227.

$$m = \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2} \cdot 100\ [\%] \qquad (37)$$

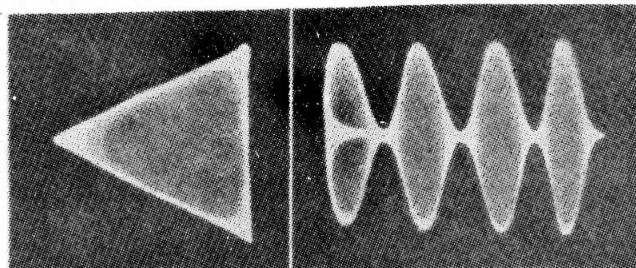
Ako je $A_2 = 0$, tada je $m = 100\%$. Spoj za *snimanje modulacionog trapeza* prikazan je u principu na sl. 228. Sa zavojnicom odašiljača L_1 in-

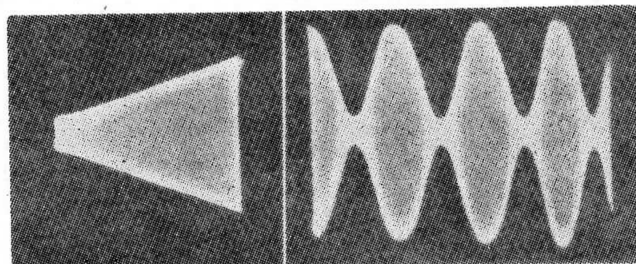
duktivno je vezana pomoćna zavojnica L_2. Tonski modulirani visokofrekventni napon, koji nastaje na krajevima zavojnice L_2, privodi se pločama za vertikalno otklanjanje P_y. Na ploče za horizontalno otklanjanje P_x dovode se niskofrekventni modulacioni naponi, koji se preko visokofrekventnog filtra C_2—*HFD*—C_3, zapornog kondenzatora C_1 i potenciometra P uzimaju iz modulacionog stupnja odašiljača. Svijetla mrlja se pomoću tonski moduliranih visokofrekventnih titraja otklanja u vertikalnom, a pomoću modulacionih niskofrekventnih titraja u horizontalnom smjeru; oba ova titranja su međusobno sinhronizirana, te se dobivaju mirne slike.



Sl. 228.

Na sl. 229. vidimo oscilogram modulacionog trapeza jednog 100%-tno moduliranog odašiljača, a na sl. 230. oscilogram tonski moduliranih visokofrekventnih titraja istog odašiljača u ovisnosti o v r e m e n u. Na koncu na sl. 231. i 232. vidimo isto takve oscilograme 60%-tno moduliranog odašiljača.


Sl. 229. *Sl. 230.*


Sl. 231. *Sl. 232.*

229. — S ovim primjerima nije ni izdaleka iscrpljena mogućnost primjene katodnih oscilografa Spomenut ćemo, da se katodni oscilografi s najvećim uspjehom upotrebljavaju također za ispitivanje transformatora, spojeva za automatsku regulaciju fejdinga itd., a isto tako i za ispitivanja na zvučnicima, mikrofonima, zvučnicama, fotoćelijama, tinjalicama, te kod mjerenja jakosti polja. K tome dolazi još primjena u televizijskoj tehnici, tonfilmskoj i avionskoj tehnici i u tehnici jake struje, nadalje u građevinskoj i strojarskoj tehnici, tehnici satova i kod ispitivanja materijala. Na koncu ćemo još spomenuti primjenu katodnih oscilografa za znanstvena istraživanja u fizici, kemiji, astronomiji, medicini i biologiji. Ukratko se može reći da danas jedva još ima koje područje tehnike ili znanosti, u kojem se ne primjenjuju katodni oscilografi.

S ovim završavamo razlaganja o osnovima mjerne radio-tehnike.

Ponavljanje

Za *snimanje rezonantnih krivulja* pomoću katodnih oscilografa potreban je f r e k v e n t n o m o d u l i r a n i mjerni odašiljač, to jest odašiljač, kojeg se namještena rezonantna frekvencija periodično mijenja za kojih $\pm$ 10 kHz. Ovakva frekventna modulacija postiže se tako da se promjenljivom kondenzatoru odašiljača spoji paralelno mali pomoćni promjenljivi kondenzator, čije pokretne ploče vrti motor. Bolje je međutim, ako se paralelno titrajnom krugu odašiljača spoji višepolna elektronka, koja djeluje kao promjenljivi s a m o i n d u k t i v i t e t; pri tome se elektronka uzbuđuje relaksacionim naponom, tako da se mijenja njezina strmina i njezin samoinduktivitet, a time i rezonantna frekvencija odašiljača. Katodni oscilograf se može upotrijebiti također za *ispitivanje odašiljača*, i to naročito za kontrolu u pogonu. Ako se visokofrekventni titraji tonski moduliranog odašiljača ne sinhroniziraju relaksacionim naponom, nego n i s k o f r e k v e n t n i m m o d u l a c i o n i m t i t r a j i m a, tada na svijetlećem zastoru dobivamo m o d u l a c i o n i t r a p e z odašiljača; iz ovoga se može izračunati stupanj modulacije. Kod *snimanja modulacionog trapeza* se tonski modulirani visokofrekventni titraji dovode pločama za vertikalno otklanjanje, a niskofrekventni modulacioni napon pločama za horizontalno otklanjanje. Na koncu smo spomenuli mnogobrojna daljnja područja primjene katodnih oscilografa u nauci i tehnici.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakav je uređaj potreban za snimanje rezonantnih krivulja pomoću katodnih oscilografa? *Odgovor:* Frekventno modulirani mjerni odašiljač. — *P.:* U kojem opsegu se pri tome vrši moduliranje odašiljača? *O.:* Namještena rezonantna frekvencija periodično se mijenja za kojih $\pm$ 10 kHz. — *P.:* Kako se ovo postiže? *O.:* Tako da se paralelno titrajnom krugu mjernog odašiljača doda maleni pomoćni promjenljivi kondenzator, kojeg se kapacitet jednolično mijenja, ili da se doda višepolna elektronka, koja djeluje kao promjenljivi samoinduktivitet. — *P.:* Na koji se način mijenja samoinduktivitet elektronke? *O.:* Elektronka se uzbuđuje relaksacionim naponom; time se mijenja strmina elektronke, što uzrokuje mijenjanje samoinduktiviteta, pa dakle i rezonantne frekvencije mjernog odašiljača. — *P.:* Kakvi naponi djeluju na otklonskim pločama katodne elektronke kod snimanja rezonantne krivulje? *O.:* Na pločama za vertikalno otklanjanje djeluju ispravljeni naponi ispitivanog titrajnog kruga, a na pločama za horizontalno otklanjanje relaksacioni napon. — *P.:* Kako se na katodnom oscilografu mogu prikazati visokofrekventni titraji nekog tonski moduliranog odašiljača? *O.:* Bilo u ovisnosti o vremenu (relaksacionom naponu) ili u ovisnosti o

modulacionim niskofrekventnim titrajima. — *P.*: Kakva slika nastaje u posljednjem slučaju? *O.*: Modulacioni trapez. — *P.*: Kakvu praktičku vrijednost ima modulacioni trapez? *O.*: Pomoću modulacionog trapeza može se izračunati stupanj modulacije odašiljača i ispitati njegov rad. — *P.*: U kakav oblik prelazi modulacioni trapez kod 100%-tno moduliranog odašiljača? *O.*: U istokračni trokut.

Pitanja

92. O kakvoj smo primjeni katodnih oscilografa pobliže govorili?

93. Kakav utjecaj kod ispitivanja visokofrekventnih i niskofrekventnih titrajnih procesa ima na oscilografsku sliku posve niska relaksaciona frekvencija?

Zadaci

66. Kako se na sl. 210. mijenja položaj kosog pravca, ako se povećа napon na pločama za vertikalno, odnosno za horizontalno otklanjanje?

67. Kakav se kut faznog pomaka dobiva mjerenjem oscilograma na sl. 211?

68. Koliki je stupanj modulacije odašiljača, kojeg tonski modulirani visokofrekventni titraji daju modulacioni trapez prikazan na sl. 227?

IV. Osnovi tehnike otklanjanja smetnji

Uzroci i širenje radio-smetnji

230. — I najbolji prijemnik može postati neugodan, ako prijem ometaju šumovi u zvučniku. U principu postoje tri vrste *radio-smetnji:* **1. smetnje u prijemnom uređaju, 2. atmosferske smetnje, 3. smetnje od električkih strojeva i uređaja.** Kod *smetnja u prijemnim uređajima* radi se većinom o smetnjama koje nastaju zbog nesigurnih kontakta, na primjer u spojnim vodovima, u otpornicima, zavojnicama, kondenzatorima, transformatorima, elektronkama itd., ili također u samom zvučniku; često dolazi do smetnja i zbog loših kontakta u antenskom i uzemnom vodu. Ove smetnje koje se čuju kao pucketanje, šuštanje itd. mogu se na razmjerno lak način pronaći i otkloniti. Protiv *atmosferskih smetnji* danas još nema pouzdanog sredstva. Svi dobro poznamo prasak, koji u zvučniku izazivaju daleke i blize munje. No i nagle promjene vremena mogu znatno smetati prijemu kao praskanje, pucketanje itd. Kod ovih pojava dolazi do električkih procesa u atmosferi, na primjer do električkih nabijanja kapi kiše, pahuljica snijega i zrna tuče; ako ove čestice dođu u doticaj s antenom, nastaju električka izbijanja. Da se izbjegne statičko nabijanje prijemne antene i eventualni naponski proboji koji bi mogli oštetiti prijemnik, mora svaka prijemna antena imati prenaponski zaštitni uređaj i besprijekorno uzemljenje (vidi dio I, odsjeke 172 do 174).

231. — Kod *smetnji od električkih strojeva i aparata,* s kojima ćemo se pobliže zabaviti, radi se o takvim radio-smetnjama, koje u prijemnik prodiru preko antene, uzemnog voda i rasvjetne mreže. O radio-smetnjama, o kojima smo već prije govorili, a koje se čuju kao niskofrekventno jednolično brujanje (*»mrežni ton«*), nećemo ponovo govoriti (vidi dio II, odsjeke 16, 26 i 32). U električkim strojevima i aparatima može doći do pogonskih ili nehotičnih **prekida struje** bez iskre ili sa stvaranjem iskre, kao i do naglih **promjena napona i struje.** Budući da svaki električki uređaj predstavlja titrajni krug s koncentriranim ili porazdijeljenim kapacitetima i induktivitetima, to uslijed gore spomenutih procesa nastaju *visokofrekventni titraji smetnji* koji preko mrežnih vodova, antene i uzemnog voda dospijevaju u

prijemnik i tamo uzrokuju praskanje, pucketanje, šuštanje itd. Najgore je *stvaranje iskre* na mjestima prekida (na primjer na sklopkama, motorima, zvoncima itd.), jer u strujnim krugovima, koji su priključeni na mjesto prekida svaka iskra izaziva prigušene visokofrekventne titraje. Naročito je štetno to, što svaki strujni udarac uzrokuje smetnje na vrlo širokom frekventnom pojasu, tako da se štetni titraji, koji nastaju uslijed stvaranja iskre, čuju većnom u cijelom području radio-valova, i to s gotovo jednakom glasnoćom. Iz rečenoga izlazi da se visokofrekventni titraji smetnji u principu ponašaju isto tako kao visokofrekventni titraji koje emitira neki radio-odašiljač, iako njihova daljina dometa u slobodnom prostoru nije ni izdaleka tako velika kao kod odašiljača. No titraji smetnji se mogu sasvim dobro proširiti i preko električkih vodova (na primjer preko rasvjetne mreže!) i tako dospjeli u prijemnik.

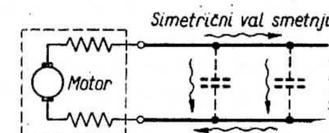
Ponavljanje

U principu postoje tri vrste *radio-smetnji;* 1. *smetnje u prijemnom uređaju*, koje većinom uzrokuju loši kontakti, 2. *atmosferske smetnje*, koje nastaju zbog električkih procesa u atmosferi, i 3. *smetnje od električkih strojeva i aparata*, koje u prijemnik dospijevaju preko antene, uzemnog voda i rasvjetne mreže. Ove posljednje smetnje nastaju uslijed prekidanja struje i uslijed naglih promjena napona i struje u električkim strojevima i aparatima. Uzrok naročito neugodnih smetnji je električka *iskra*, jer svaka iskra stvara visokofrekventne titraje u vrlo širokom području frekvencija, tako da se ovi titraji smetnji većinom čuju gotovo jednako jako u cijelom području primanja.

Pitanja i odgovori

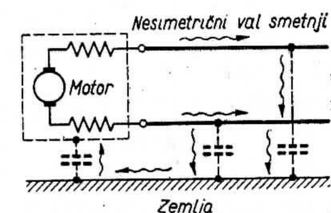
Pitanje: Koliko ima vrsta radio-smetnji? *Odgovor:* Smetnje u prijemnom uređaju, atmosferske smetnje i smetnje od električkih strojeva i aparata. — *P.:* Kako se očituju ove smetnje? *O.:* Kao praskanje, pucketanje, pištanje, šuštanje itd. — *P.:* Kako mogu nastati smetnje u prijemnom uređaju? *O.:* Od nesigurnih kontakta u vodovima ili dijelovima prijemnog uređaja. — *P.:* Što uzrokuje atmosferske smetnje? *O.:* Električki procesi u atmosferi, na primjer, uslijed munje i izbijanja kapi kiše, snježnih pahuljica i zrna tuče. — *P.:* Kako dolazi do smetnji od električkih strojeva i aparata? *O.:* Uslijed prekida struje uz pojavu iskre ili bez nje, i uslijed naglih promjena napona i struje; priključeni strujni krugovi sa svojim kapacitetima i induktivitetima čine titrajne krugove, u kojima ove promjene stvaraju visokofrekventne titraje smetnji. — *P.:* Zašto električka iskra predstavlja naročito opasan izvor štetnih titraja? *O.:* Zato, što je pojava iskre vezana uz isijavanje prigušenih visokofrekventnih titraja u vrlo širokom frekventnom području. — *P.:* Zašto je ovo naročito neugodno za radio-prijem? *O.:* Ovi štetni titraji smetaju radio-prijem na svim valnim područjima gotovo jednakom glasnoćom.

232. — Sada ćemo pobliže istraživati *širenje radio-smetnji* od mjesta nastanka (izvora smetnji) pa do prijemnika. Kao primjer uzet ćemo motor kod kojeg se pojavljuje iskrenje (sl. 233). Jedan dio visokofrekventnih titraja, koje uzrokuje preskok iskre između kolektora i četkica motora, putuje kao *simetrični* val isključivo preko *vodova mreže.* Visokofrekventni titrajni krug ovdje čini uzbudni namotaj i namotaj rotora, kao i njihovi vlastiti međusobni kapaciteti, a isto tako i raspodijeljeni crtkano naznačeni kapaciteti mrežnih vodova. Uz mrežu koja je »zasićena« ovakvim valovima smetnji, i prijemnik, koji nije »zaštićen« od smetnji, ne može se dobiti nesmetani prijem. Drugi dio visokofrekventnih titraja širi se kao *nesimetrični val* preko zemnih kapaciteta mreže i kućišta motora (sl. 234), odnosno preko spojeva, pomoću kojih je uređaj iz pogonskih razloga *spojen sa zemljom.*



Sl. 233.

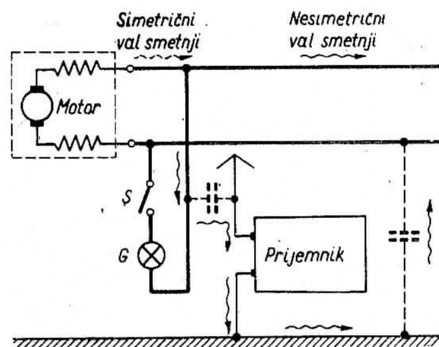
U jednoličnom, neprekinutom i nerazgranatom mrežnom vodu dolazi do simetričnih i nesimetričnih valova smetnji, bez međusobnog smetanja i bez ovisnosti jednih o drugima. No ako bilo gdje na vodu nestane simetrije, na primjer uslijed sklopke, krugova sa sijalicama itd., tada se mijenja veličina kapaciteta vodova prema zemlji; zbog ovoga se mogu simetrični valovi smetnji naglo pretvoriti u *nesimetrične* valove (sl. 235). Nadalje se može dogoditi, da nesimetrični valovi smetnji iz nekog kruga rasvjetne mreže (sklopka *S* — sijalica *G*) prodru preko kapacitivne veze mreže s antenom u prijemnik. Isto se događa i kod *kapacitivne veze* prijemne antene s drugim vodovima mreže, vodovima za vodu i plin, vodovima za zvonce itd. (sl. 236). Da se izbjegne primanje nesimetričnih valova smetnji mora se paziti na to, da *prijemna antena i uzemni vod nemaju kapacitivne veze s metalnim prenosačima smetnji, to jest da s njima ne idu paralelno!*



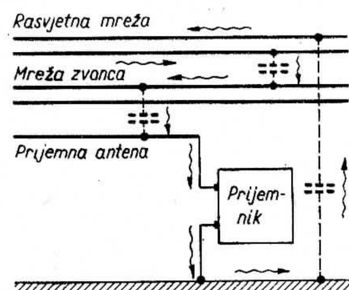
Sl. 234.

233. — Budući da su električki strojevi i aparati u kućanstvu i obrtu vanredno rašireni, to se radi o velikom broju izvora smetnji. Svaki izvor smetnji ima u zvučniku prijemnika svoj karakteristični šum. Kod traženja izvora smetnji može se prema *vrsti šuma* zaključiti o kakvom se smetaču radi. Postoje *gramofonske ploče* na kojima su snimljeni šumovi smetnji, koji se najčešće pojavljuju, Na ovakvoj ploči snimljen je na primjer najprije šum sam, a poslije pomiješan s muzikom. Stvoreni su dakle uvjeti koji stvarno postoje kod smetanog prijema nekog odašiljača. Na gramofonskim pločama obično su snimljeni šumovi slijede-

ćih izvora smetnji: 1. *Visokofrekventni medicinski aparat,* kojeg se titraji šire u velikom krugu i prepoznavaju po jakom pucketanju. 2. *Visokofrekventni upaljači* pomoću kojeg se pritiskom na tipkalo upali fitilj namočen u benzin, pri čemu iskrenje nastaje od visokofrekventnog napona; šum smetnji sličan je šumu od visokofrkeventnih medicinskih aparata. 3. *Loši kontakti* u električkim vodovima, kojih šum se lako poznaje po oštrom i kratkom prasku. 4. *Električko zvonce,* kojeg šum se poznaje po kratkotrajnom, često nekoliko puta ponovljenom krčanju. 5. *Temperaturni regulator,* koji električku struju u stanovitim vremenskim razmacima automatski ukapča ili iskapča. Preskoci iskre na pokretnoj kontaktnoj opruzi mogu uzrokovati raznolike titraje smetnji; oni se mogu prepoznati po praskanju, koje može prijeći u jednu vrstu žabljeg kreketanja s trajanjem od nekoliko sekunda. 6. *Motor šivaće mašine,* kod kojeg iskrenje kolektora uzrokuje dosta visoko zujanje i grebenje, a ponavlja se s kratkim prekidima, kako to odgovara rukovanju kod šivanja. 7. *Sušilo za kosu* i 8. *Sisač prašine,* koji proizvode štetne titraje visoke frekvencije; što se brže motor vrti, to viši je ton smetnji, a osim toga se visina tona za vrijeme pogona mijenja. 9. *Motor dizala,* koji se čuje kao jako pucketanje ili cvrčanje; ukapčanje i iskapčanje ovog motora jasno se čuje. 10. *Mali motor,* na primjer od ventilatora, bušilice itd., također daje šum s određenim tonom; većinom se, međutim, čuje jednolično šuštanje. 11. *Veliki motor* uzrokuje jako brujanje pomiješano s pucketanjem. 12. *Smetnje od tramvaja,* koje nastupaju periodično i to prema udaljenosti pojedinih kola; ove smetnje se često zamjenjuju s atmosferskim smetnjama, a karakterizirane su pucketanjem, kojeg jakost opada kako se brzina kola smanjuje. 13. *Smetnje od reakcionih prijemnika* koje su svakome dobro poznate; one se čuju kao zviždanje svih mogućih visina tona. 14. *Odvlačenje energije pomoću reakcije,* do čega dolazi onda, ako susjedov pri-



Sl. 235.



Sl. 236.

jemnik uslijed jake reakcije jako oscilira, a ugođen je tačno na dotični odašiljač, tako da se usprkos osciliranja ne čuje treptajni ton (»treptajna nula«). Pri tome se smetanom prijemniku prividno oduzme energija, te prijem postane slabiji i izobličen. Tek kad susjed svoj prijemnik malo razgodi, vlastiti prijem postane jači i manje izobličen, ali se čuje reakciono zviždanje.

Ponavljanje

Kod *širenja radio-smetnji* putuju visokofrekventni titraji smetnji bilo kao *simetrični valovi* isključivo preko m r e ž n i h v o d o v a, ili kao *nesimetrični valovi* preko svih metalnih dijelova, koji su s prenosačem smetnji vezani kapacitivno. Prijemna antena i uzemni vod ne smije ići paralelno s metalnim prenosačima smetnji, jer se time u velikoj mjeri izbjegava kapacitivna veza i prema tome prodiranje titraja smetnji u prijemnik. Električki strojevi i aparati uzrokuju u zvučniku šumove smetnji sasvim određenog karaktera, tako da se po šumu može prepoznati vrsta izvora smetnji. Za ovu svrhu upotrebljavaju se *gramofonske ploče,* na kojima su snimljeni najčešći šumovi smetnji.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se šire radio-smetnje? *Odgovor:* Bilo kao simetrični valovi po mrežnim vodovima ili kao nesimetrični valovi po vodičima, koji su s prenosiocem smetnji kapacitivno vezani. — *P.:* Koji su valovi smetnji prema tome opasniji? *O.:* Nesimetrični valovi. — *P.:* Što iz ovoga slijedi u vezi s montažom prijemne antene i uzemnog voda? *O.:* Oboje ne smije s metalnim prenosiocima smetnji imati kapacitivne veze, to jest ne smije se sa smetačem postaviti paralelno. — *P.:* Kako se različiti izvori smetnji čuju u zvučniku? *O.:* Kao posve određeni šumovi po kojima se može prepoznati vrsta smetača. — *P.:* Na koji način se može olakšati prepoznavanje vrste izvora smetnji? *O.:* Pomoću gramofonskih ploča, na kojima su snimljene karakteristične radio-smetnje.

Pitanja

94. Od čega se sastoje titrajni krugovi, u kojima nastaju visokofrekventni titraji smetnji, ako na mjestima prekida u električkim strojevima i aparatima dođe do iskrenja?

95. U kakvim strujnim krugovima mogu nastati simetrični i nesimetrični valovi smetnji nezavisno jedni od drugih.

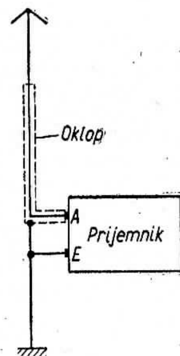
Zadaci

69. U nekom prijemniku se i nakon iskapčanja antene i uzemnog voda čuje pucketanje i jednolično brujanje. Što može biti uzrok ovim smetnjama?

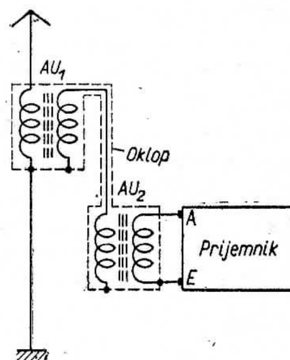
Otklanjanje smetnji kod prijemnih uređaja

234. — Ako se pojave radio-smetnje najprije moramo pokušati da smetnje otklonimo kod vlastitog prijemnog uređaja. Ovdje nećemo još jednom govoriti o otklanjanju smetnji, koje nastaju u prijemniku samom (loši kontakti, mrežno brujanje; vidi odsjeke 230 i 231), nego o visokofrekventnim smetnjama koje u prijemnik prodiru izvana preko antene,

uzemnog voda, mrežnih vodova ili drugih metalnih prenosilaca smetnji (plinovod, vodovod, vodovi za grijanje, vodovi električkog zvonca, željezne konstrukcije itd.). Za dobar radio-prijem potrebno je da *korisni napon u prijemnoj anteni* [= jakost električkog polja × efektivna visina antene; vidi dio I, odsjek 162. i jedn. (7)] *bude oko 100 puta veći od napona smetnji.* Pri tome postoji poteškoća da se dovoljno tačno odredi efektivna visina antene (vidi dio I, odsjeke 147 i 148). Za unutarnje antene kao i druge pomoćne antene može se na temelju mnogobrojnih mjerenja u većini slučajeva računati s prosječnom efektivnom visinom antene od kojih 30 cm. Da se dobije prijem bez smetnji potrebno je što više izbjegavati upotrebu unutarnjih antena, a naročito mrežnih antena, jer one većinom leže u *magli smetnji* i prema tome primaju od ove znatnu energiju (vidi dio I, odsjeke 165 i 167). Stoga prijemnu antenu moramo ukloniti iz magle smetnji; treba dakle upotrijebiti visoku antenu. No pri tome valja paziti da se antenski dovod ne nalazi u magli smetnji. Antena, koja prima najmanje smetnji, u svakom slučaju je visoka antena (na primjer štapna antena, antena od metalne cijevi) s *oklopljenim dovodom* (vidi dio I, odsjek 168). Neoklopljeni dio antene koji prima korisnu energiju, mora stršiti iznad magle smetnji (svi predmeti koji su u vezi sa zemljom, na primjer metalni krovovi, krovni žljebovi, rešetke za snijeg itd., ovdje vrijede kao »zemlja«).



Sl. 237.

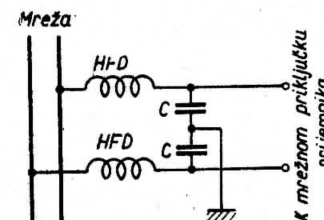


Sl. 238.

Na sl. 237. na primjer, vidi se kako se oklopljena antena može priključiti na prijemnik. Gubitak energije, koji nastaje uslijed odvođenja jednog dijela antenske energije preko kondenzatora antenski dovod—oklop, može se smanjiti upotrebom posebnog *antenskog transformatora* (sl. 238). AU_1 je oklopljeni transformator koji prilagođuje impedanciju antene na antenski kabel, a AU_2 je oklopljeni transformator, koji prilagođuje nisku impedanciju antenskog kabela na visoku ulaznu impedanciju prijemnika. Nadalje je potrebno uzeti što kraći i ne suviše tanki uzemni vod, da smetnje ne bi preko ovog voda došle u prijemnik.

235. — Često visokofrekventni titraji smetnji uđu u prijemnik *preko električke mreže.* U tom slučaju prenose se štetni titraji s mrežnog priključnog voda direktno na antenski vod. Ovo se može spriječiti tako,

da se u mrežni vod ugradi *visokofrekventni zaporni filtar.* Ovakav zaporni filtar sastoji se na primjer od dvije *visokofrekventne prigušnice HFD* induktiviteta od 0,1 do 10 mH (na primjer po dvije zavojnice od 300 zavoja, žica debljine 0,3 mm, motano u istom smjeru, namotaj bez kapaciteta) i *dvostrukog kondenzatora C* kapaciteta od 2×10 000 pF, odvojak sa sredine uzemljen (sl. 239). Visokofrekventne prigušnice ne dopuštaju da štetne izmjenične struje iz mreže dođu u prijemnik, dok pogonsku struju prijemnika propuštaju praktički nesmetano. One izmjenične struje, koje prigušnice propuste, kondenzatori odvode prema zemlji. Visokofrekventni zaporni filtar mora se smjestiti *odmah kod mrežne priključnice,* da već u priključnom kabelu prijemnika ne bi bilo štetnih titraja, koji bi se mogli prenijeti na ulaz prijemnika. Duži vod između zapornog filtra i mrežne priključnice potrebno je bezuvjetno izbjegavati. jer inače djelovanje filtra ne dolazi do izražaja. Dobar visokofrekventni zaporni filtar istodobno ne dopušta, da u prijemnik preko mreže uđu visokofrekventni titraji odašiljača (na primjer lokalnog odašiljača), što pridonosi poboljšanju selektivnosti. U mnogim slučajevima smetnje se mogu otkloniti već i samim dvostrukim kondenzatorom. Na koncu valja podsjetiti da dobar mrežni transformator ima između primarnog i sekundarnog namotaja jednoslojni i jednopolno uzemljeni zaštitni namotaj (vidi dio II, odsjek 12 i sl. 8). Ovaj zaštitni namotaj predstavlja za visokofrekventne titraje iz mreže kratki spoj, tako da je često posebni visokofrekventni zaporni filtar nepotreban. Što je međutim povoljnije, potrebno je od slučaja do slučaja iskušati.



Sl. 239.

Ponavljanje

Ako je korisni izmjenični napon, koji primi antena, kojih 100 puta veći od primljenog napona smetnji, tada se može govoriti o radio-prijemu koji je praktički bez smetnji. Najčistiji prijem dobiva se pomoću visoke antene koja se nalazi iznad magle smetnji, a dovod joj je oklopljen. Uzemni vod mora biti što kraći i ne suviše tanak. Gubitak korisne visokofrekventne energije, koji nastaje kapacitivnim djelovanjem oklopljenog antenskog kabela, može se smanjiti primjenom antenskog transformatora. Da preko mrežnih vodova u prijemnik ne uđu visokofrekventni titraji od raznih smetača i odašiljača, ukapča se u mrežni vod *visokofrekventni zaporni filtar* koji se sastoji od dvije visokofrekventne prigušnice i dvostrukog kondenzatora. Slično djeluje i jednoslojni, jednopolno uzemljeni zaštitni namotaj između primarnog i sekundarnog namotaja mrežnog transformatora.

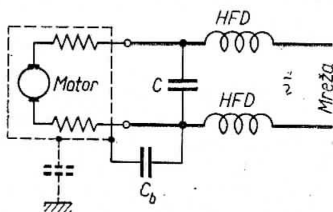
Pitanja i odgovori

Pitanje: Da se dobije radio-prijem bez smetnji, koliki mora biti korisni izmjenični napon, što ga prima antena? *Odgovor:* Mora biti oko

100 puta veći od primljenog napona smetnji. — *P.*: Kako se izračunava korisni napon? *O.*: Korisni izmjenični napon = jakost primarnog električkog polja × efektivna visina prijemne antene. — *P.*: Kakva mora biti antena, pa da radio-prijem bude bez smetnji? *O.*: Antena se mora izdizati iznad magle smetnji dotične zgrade i mora imati oklopljeni dovod; uzemni vod ne smije biti suviše dug ni suviše tanak. — *P.*: Kako se može nadoknaditi gubitak korisnog visokofrekventnog napona, do kojeg dolazi uslijed djelovanja oklopljenog antenskog kabela? *O.*: Tako, da se na početak oklopljenog kabela stavi transformator s prijenosom naniže, a na kraj kabela transformator s prijenosom naviše radi prilagođenja na ulazni krug prijemnika. — *P.*: Kako se može spriječiti da visokofrekventni štetni titraji ne uđu u prijemnik preko mrežnih vodova? *O.*: Ukapčanjem visokofrekventnog zapornog filtra ili pomoću jednoslojnog i jednopolno uzemljenog zaštitnog namotaja između primarnog i sekundarnog namotaja mrežnog transformatora. — *P.*: Od čega se sastoji visokofrekventni zaporni filtar? *O.*: Od dvije visokofrekventne prigušnice i dvostrukog kondenzatora, kojem je srednji odvod uzemljen. — *P.*: Na kojem se mjestu mora staviti visokofrekventni zaporni filtar? *O.*: U mrežni vod prijemnika odmah do mrežne priključnice.

Otklanjanje smetnji kod električkih strojeva i aparata

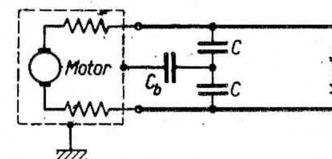
236. — Za *otklanjanje smetnji kod električkih strojeva i aparata* upotrebljavaju se *kondenzatori, visokofrekventne prigušnice* i *omski otpori;* u naročito teškim slučajevima (na primjer kod medicinskih visokofrekventnih aparata) dolazi u obzir i *oklapanje* izvora smetnji, a prema prilikama i oklapanje cijele prostorije, u kojoj se izvor smetnji nalazi. Većinom je, međutim, za otklanjanje smetnji dovoljno da se upotrijebe *kondenzatori,* ili još uz njih omski otpori. Ovi kondenzatori, kojih se kapacitet kreće između 2 000 pF i 4 μF, spajaju se uvijek na one tačke izvora smetnji, na kojima nastaju visokofrekventni štetni naponi. Ako, na primjer, paralelno mrežnim priključnicama nekog motora spojimo kondenzator C (sl. 240), tada je ovim kondenzatorom unutarnji otpor motora »kratko spojen«, tako da se *simetrični valovi* smetnji ne mogu više širiti preko mrežnih vodova, nego preko kondenzatora C. Ovdje se svakako pretpostavlja da je kapacitivni otpor kondenzatora C dovoljno malen prema unutarnjem otporu motora. Širenje *nesimetričnih valova* smetnji sprečavaju *visokofrekventne prigušnice HFD* (vidi sl. 240). Ove visokofrekventne zavojnice imaju induktivitet od 0,1 do 10 mH, namotaj im je bez kapaciteta, a otpor za istosmjernu struju je malen (usporedi odsjek 235).



Sl. 240.

237. — Širenje n e s i m e t r i č n i h valova smetnji može se spriječiti također pomoću k o n d e n z a t o r a. Ako motor *nije uzemljen,* tada on prema zemlji ima stanoviti kapacitet, koji je s unutarnjim otporom motora spojen u seriju (na sl. 240. crtkano). Da se otklone nesimetrični valovi smetnji ukapča se kao spoj za izjednačenje između mrežnih vodova i kućišta motora, odnosno zemlje, kondenzator C_b. No kod uređaja izmjenične struje može se dogoditi da kroz kondenzator C_b teče nedopušteno velika kapacitivna prazna struja, ili da osoba, koja je slučajno dobro »uzemljena« (vlažno tlo, vodovod, centralno grijanje itd.), dobije osjetljiv električki udarac! Da se ovo spriječi mora prema propisima kondenzator C_b imati kod mrežne frekvencije toliki otpor da kapacitivna struja, koja preko njega teče između kućišta motora i zemlje, iznosi *najviše 0,4 do 0,8 mA_{ef}. Kapacitet zaštitnog kondenzatora C_b* iznosi prema tome kod svih *neuzemljenih* izvora smetnji, kao i kod onih izvora smetnji, *koji mijenjaju mjesto* (na primjer sisači prašine, sušila za kosu, šivaći strojevi itd.), po pravilu oko 0,005 μF = 5 000 pF (kod mrežnog napona od 220 V_{ef}).

238. — Kod *uzemljenog* i *nepokretnog motora* (na primjer bušilica, stroj za pranje itd.) smetnje se prema sl. 241. mogu otkloniti pomoću dvostrukog kondenzatora C, kojeg je srednji odvojak spojen d i r e k t n o s uzemljenim kućištem motora. U ovom slučaju *jakost izmjenične struje u uzemnom vodu ne smije biti veća od kojih 3,5 mA_{ef}!* Ovo uvjetuje ograničenje kapaciteta kondenzatora C na vrijednost od kojih 0,05 μF = = 50 000 pF (kod napona mreže od 220 V_{ef}). Ako s obzirom na otklanjanje smetnji kondenzatori C moraju imati kapacitet veći od 0,05 μF, tada se u uzemni vod stavlja zaštitni kondenzator C_b = 0,05 μF (v. sl. 241). Radi li izvor smetnji na mreži s u z e m l j e n i m n u l - v o d i č e m, koji vodi pogonsku struju, tada se kućište može spojiti d i r e k t n o s nul-vodom; za ovo ne postoje posebni propisi. Nadalje je jasno da propisima uvjetovana ograničenja, o kojima smo govorili, otpadaju kod otklanjanja smetnji na uređajima i s t o s m j e r n e struje, jer kod ovih kapacitivne prazne struje ne mogu teći.



Sl. 241.

239. — U tehnici otklanjanja smetnji upotrebljavaju se također *omski otpori.* Oni *prigušuju visokofrekventne titraje* smetnji i, kako ćemo vidjeti u slijedećem predavanju, većinom se kondenzatorima spajaju u seriju, da priguše iskrenje na mjestima prekida. Kod svih ovih sredstava za zaštitu od smetnji moramo uvijek paziti na to, da vodovi do izvora smetnji budu što kraći; inače ovi vodovi mogu emitirati smetnje. te uslijed kapacitivne veze s ostalim metalnim vodičima otklanjanje smetnji ne uspijeva. Stoga uvijek treba nastojati da se zaštitna sredstva smjeste t i k u z s m e t a č a, a ne možda preko dugih vodova kod mrežne priključnice! Ovo vrijedi prije svega u slučajevima, u kojima zaštitni uređaj nije ugrađen u izvor smetnji ili se ne može ugraditi, već

se mora priključiti izvana. Na koncu se samo po sebi razumijeva, da zaštitna sredstva niukoliko ne smiju utjecati na rad i pogonsku sigurnost postrojenja. Zato kondenzatori moraju imati dovoljno visok **ispitni napon** i u postrojenjima jake struje moraju se osigurati posebnim **rastalnim osiguračima** (općenito za 2 do 6 A). Osim ovoga kondenzatori moraju izdržati **pogonsku temperaturu i vlažnost**. Kod izbora visokofrekventnih prigušnica treba paziti na jakost pogonske struje dotičnog uređaja. Presjek žice mora biti dovoljno velik, da kod prigušnica ne bi došlo do nedopuštenog ugrijavanja i suviše velikog pada napona.

Ponavljanje

Za *otklanjanje smetnji kod električkih strojeva i aparata* upotrebljavaju se kondenzatori, visokofrekventne prigušnice i omski otpori Pri tome se **kondenzatori** spajaju uvijek na one tačke izvora smetnji, između kojih dolazi do štetnih visokofrekventnih napona (potiskivanje **simetričnih** valova smetnji); **visokofrekventne prigušnice** stavljaju se međutim u mrežni vod, na koji je izvor smetnji priključen (potiskivanje **nesimetričnih** valova smetnji). Širenje nesimetričnih valova smetnji može se također spriječiti pomoću kondenzatora, na primjer, spajanjem kućišta nekog **neuzemljenog** motora preko kondenzatora s mrežnim vodičem. Da se izbjegnu suviše jake kapacitivne struje i električki udarci, koje može dobiti uzemljena osoba ako se dotakne kućišta motora, mora ovaj kondenzator djelovati kao zaštitni kondenzator, to jest njegov kapacitet mora iznositi najviše 5 000 pF (kod 220 V_{ef}), da jakost kapacitivne struje ne bi bila veća od 0,4 do 0,8 mA_{ef}. U slučaju otklanjanja smetnji kod **uzemljenih i nepokretnih** strojeva ne smije izmjenična struja u uzemnom vodu biti veća od 3,5 mA_{ef}, a kapacitet zaštitnog kondenzatora ne smije biti veći od 50 000 pF (kod 220 V_{ef}). Ovi propisi ne važe kod uređaja izmjenične struje s uzemljenim nul-vodičem i kod uređaja istosmjerne struje. Za **prigušivanje** visokofrekventnih titraja smetnji upotrebljavaju se **omski otpori**, spojeni većinom s kondenzatorima u seriju. Zaštitna sredstva moraju se smjestiti **tik do izvora smetnji**. Ako se zaštitna sredstva prilagode pogonskim uvjetima strojeva i aparata i ako su odgovarajuće izvedbe, ne dolazi ni do kakvog utjecaja na rad i pogonsku sigurnost postrojenja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kojim se pomoćnim sredstvima vrši otklanjanje smetnji kod električkih strojeva i aparata? *Odgovor:* Kondenzatorima, visokofrekventnim prigušnicama i omskim otporima, a također i metalnim oklopima. — *P.:* Kako se može potisnuti simetrične valove smetnji? *O.:* One tačke izvan smetnji između kojih nastaju visokofrekventni štetni titraji, premoštava se kondenzatorima. — *P.:* Kako se može potisnuti nesimetrične valove smetnji? *O.:* Pomoću visokofrekventnih prigušnica u mrežnim vodovima, ili također pomoću kondenzatora. — *P.:* Kako se mogu potisnuti nesimetrični valovi smetnji kod neuzemljenog motora? *O.:* Kućište motora se preko kondenzatora spoji s mrežnim vodičem. — *P.:* Na što treba pri tome paziti? *O.:* Struja, koja teče kroz ovaj kondenzator, ne smije biti veća od 0,4 do 0,8 mA_{ef}, a kapacitet kondenzatora ne smije biti veći od 5 000 pF (kod 220 V_{ef}). — *P.:* Zašto je potrebno ovo ograničenje? *O.:* Da uzemljene osobe, koje se dotaknu kućišta motora, ne dobiju električke udarce. — *P.:* Kako se prema tome nazivaju ovi kondenzatori? *O.:* Zaštitni kondenzatori. — *P.:* Za koja električka postrojenja vrijede isti propisi? *O.:* Za sve pokretne uređaje. — *P.:* Na koje propise treba paziti, ako se otklanjanje smetnji vrši kod uzemljenih i nepokretnih uređaja? *O.:* U uzemnom vodu jakost izmjenične struje smije iznositi najviše 3,5 mA_{ef}; kapacitet eventualnog zaštitnog kondenzatora ne smije biti veći od 50 000 pF (kod 220 V_{ef}). — *P.:* Za koja električka postrojenja ovi propisi ne vrijede? *O.:* Za postrojenja izmjenične struje s uzemljenim nul-vodičem i za postrojenja istosmjerne struje. — *P.:* Kako se visokofrekventne štetne titraje može prigušiti? *O.:* Pomoću omskih otpora. — *P.:* Kako treba smjestiti zaštitna sredstva kod otklanjanja smetnji na električkim srtojevima i aparatima? *O.:* Neposredno na izvor smetnji. — *P.:* Na što treba paziti kod izbora kondenzatora i visokofrekventnih prigušnica za otklanjanje smetnji? *O.:* Kondenzatori moraju imati dovoljno visok ispitni napon, a kod uređaja jake struje moraju biti osigurani rastalnim osiguračima; osim toga moraju izdržati pogonske temperature i vlažnost. Visokofrekventne prigušnice treba prilagoditi pogonskoj struji. — *P.:* Mogu li zaštitna sredstva štetno djelovati? *O.:* Ako se pazi na spomenute propise, i ako su zaštitna sredstva dobre izvedbe, neće biti nikakvog utjecaja na rad i pogonsku sigurnost uređaja.

Pitanja

96. Kako visokofrekventni štetni titraji mogu izvana doći u prijemnik?

97. Kakva principijelna razlika postoji s obzirom na priključivanje sredstava za otklanjanje smetnji na radio-prijemnik, odnosno na električke strojeve i aparate?

98. Koliki moraju biti kapaciteti kondenzatora, odnosno induktiviteti visokofrekventnih prigušnica, koji se upotrebljavaju za otklanjanje smetnji?

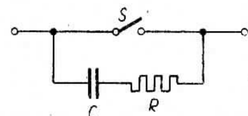
Zadaci

70. Kod primanja nekog odašiljača iznosi jakost korisnog polja 0,2 mV/m, a efektivna visina prijemne antene 50 cm. Koliki smije biti napon smetnji u prijemnoj anteni, pa da se prijem može smatrati praktički bez smetnji?

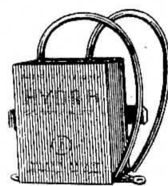
71. Prazna struja, koja teče kroz zaštitni kondenzator, smije iznositi najviše 0,4 mA_{ef}. Koliki smije biti kapacitet zaštitnog kondenzatora uz napon mreže od 110 V_{ef} i frekvenciju 50 Hz?

240. — Sada ćemo upoznati *praktičke primjere otklanjanja smetnji kod električkih strojeva i aparata*. Budući da ne možemo ulaziti u sve slučajeve otklanjanja smetnji, to ćemo se ograničiti samo na one slučajeve, koji u praksi najčešće dolaze. Većina radio-smetnji nastaje na *kontaktima*, i to bilo na *mirujućim kontaktima* (na primjer, na sklopkama, električkim zvoncima, temperaturnim regulatorima itd.) ili na *rotirajućim kontaktima* (na električkim strojevima). Kontaktne smetnje mogu se u velikoj mjeri ublažiti već i pomnim *čišćenjem kontaktnih ploha* i izborom prikladnog kontaktnog materijala. Nadalje je potrebno bezuvjetno paziti na to, da kod postavljanja zaštitnih sredstava ne nastanu novi loši kontakti, što djelovanje cijelog zaštitnog uređaja može učiniti neefikasnim. Kod *mirujućih kontakta* smetnje se u najjednostavnijem slučaju mogu otkloniti *spojem za gašenje iskara*. Pri tome se paralelno mjestu prekida, na kojem nastaju iskre otvaranja, na primjer paralelno sklopki *S* na sl. 242. spoji serijski spoj kondenzatora $C = 0{,}1$ do 2 μF i

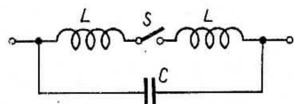
omski otpor $R = 5$ do 500 Ω. Na sl. 243. vidimo praktički primjer ovog spoja s vrijednostima $C = 0{,}5$ µF i $R = 50$ Ω. Kod otvaranja sklopke S nastaje uslijed iskre otvaranja visokofrekventna energija, koja se nagomila u kondenzatoru C, tako da se štetni titraji ne mogu širiti preko vodova. Kod zatvaranja sklopke kondenzator C se izbije. Pri tome se oslobođena visokofrekventna energija u omskom prigušnom otporu R najvećim dijelom pretvori u toplinsku energiju; kondenzator C djeluje kao kapacitivni kratki spoj. Bez otpora R visokofrekventna energija bi se prilikom zatvaranja sklopke S širila preko vodova i uzrokovala radio-smetnje. Spoj za gašenje iskara prikladan je za otklanjanje smetnji samo kod mirujućih kontakta, kod kojih napon ukapčanja nije veći od 50 V. Kod viših napona ukapčanja upotrebljava se takozvani *Larsenov spoj* (sl. 244). Visokofrekventne prigušnice $L = 0{,}1$ do 1 mH u dovodima prema sklopki S povećavaju unutarnji otpor izvora smetnji, tako da se djelovanje kondenzatora $C = 0{,}1$ do 2 µF poboljšava i preostali titraji smetnji ne mogu više dospjeti u dovode.



Sl. 242.

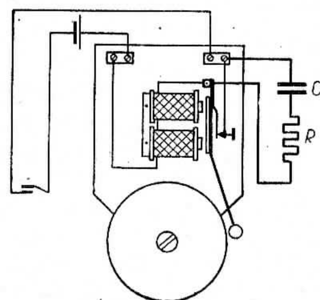


Sl. 243.

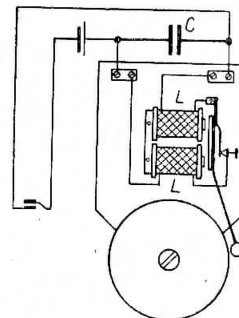


Sl. 244.

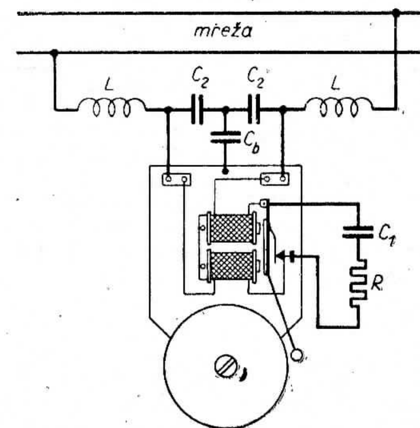
241. — **Na sl. 245. prikazano je** *otklanjanje smetnji kod baterijskog električnog zvonca.* Paralelno mjestu prekidanja (kontaktna opruga — vijak za namještanje) priključen je jednostavan spoj za gašenje iskara $C = 0{,}5$ do 1 µF — $R = 5$ do 50 Ω (usporedi sl. 242). Još efikasnije djelovanje ima poznati Larsenov spoj. Zavojnice L elektromagneta (sl. 246) tako se naime prespoje, da leže simetrično mjestu prekidanja; $C = 0{,}1$ do 2 µF je kondenzator za gašenje iskara. Za *otklanjanje smetnji kod mrežnog zvonca* upotrebljava se spoj za gašenje iskara kao na sl. 245; zavojnice magneta spoje se simetrično. Da se spriječi širenje visokofrekventnih štetnih titraja preko mrežnih vodova, stavlja se osim ovoga paralelno ulaznim prigušnicama zvonca visokofrekventni zaporni filtar L = po 0,1 do 1 mH — C_2 = po 0,5 do 1 µF (sl. 247). U dovodima k metalnoj temeljnoj ploči ili metalnom kućištu nalazi se zaštitni kondenzator $C_b = 5\,000$ pF.



Sl. 245.

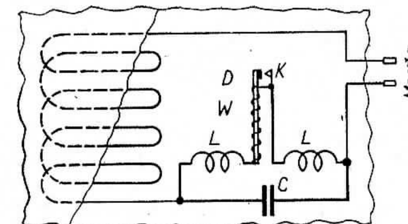


Sl. 246.



Sl. 247.

242. — Istim spojevima kao i kod električkih zvonaca mogu se smetnje potisnuti i kod većine drugih kontaktnih smetača, kao što su temperaturni regulatori, satovi za ukapčanje (za stubišno osvjetljenje), centrifugalni regulatori, uređaji svijetlećih reklama, vibratori, releji, računski strojevi, registarske blagajne itd. Od naročite važnosti je *otklanjanje smetnji kod temperaturnih regulatora,* budući da su oni vrlo rašireni u električkim grijaćim jastucima, glačalima, hladionicama itd. Na sl. 248. vidimo na primjer konstrukciju i *otklanjanje smetnji* **kod** ***električkog grijaćeg jastuka.*** **Oko automatskog bimetalnog prekidača** D, **kroz koji teče pogonska struja, omotan je namotaj** W; **u normalnom stanju kontakt** K **je otvoren.** Budući da namotaj W bimetalnu pločicu postepeno sve više ugrijava, to se pločica sve više savija, dok se konačno kod određene najviše temperature kontakt K ne zatvori. Time se namotaj W kratko spoji i pogonska struja teče sada direktno preko kontakta K i bimetalne pločice D. Pločica D se sada hladi i pri tome ispravlja i otvara kontakt K. Ovaj se proces neprestano ponavlja. Otklanjanje smetnji kod kontakta K vrši se također pomoću Larsenovog spoja; L su dvije visokofrekventne prigušnice posebne izvedbe, a C je kondenzator za gašenje iskara, otporan prema temperaturi.



Sl. 248.

Ponavljanje

Kod *otklanjanja smetnji na mirujućim kontaktima* najprije je potrebno temeljito očistiti kontaktne plohe i odabrati prikladan kontaktni materijal. Daljnje otklanjanje smetnji, vrši se pomoću *spoja za gašenje iskara*, to jest serijskog spoja kapaciteta od 0,1 do 2 μF i omskog otpora od 5 do 500 Ω, koji se priključi paralelno mjestu prekidanja. Kod napona iskapčanja većih od 50 V upotrebljava se *Larsenov spoj*. Kod ovog spoja mjesto prekida se nalazi u sredini između dviju visokofrekventnih prigušnica induktiviteta po 0,1 do 1 mH; osim prigušnica dodaje se i kondenzator za gašenje iskara kapaciteta od 0,1 do 2 μF. Pomoću ovih spojeva mogu se otkloniti smetnje na primjer kod *električkih zvonca,* kao i kod *temperaturnih regulatora* u električkim grijaćim jastucima i glačalima. Na ovaj način može se otkloniti i većina drugih kontaktnih smetnji.

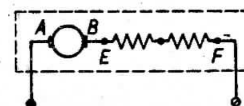
Pitanja i odgovori

Pitanje: Od čega nastaje većina radio-smetnji? *Odgovor:* Od iskre, koja se pojavljuje na mirujućim, odnosno rotirajućim kontaktima kod električkih strojeva i aparata. — *P.:* Kako se kontaktne smetnje mogu ublažiti bez posebnih sredstava? *O.:* Temeljitim čišćenjem kontaktnih ploha i izborom prikladnog kontaktnog materijala. — *P.:* Koji se spojevi upotrebljavaju za otklanjanje smetnji kod mirujućih kontakta? *O.:* Spoj za gašenje iskara i Larsenov spoj. — *P.:* Od čega se sastoji spoj za gašenje iskara? *O.:* Od kapaciteta (0,1 do 2 μF) i njemu u seriju spojenog omskog otpora (5 do 500 Ω). — *P.:* Kako se spaja spoj za gašenje iskara? *O.:* Spaja se paralelno kontaktima koji vrše prekidanje. — *P.:* Kada se upotrebljava Larsenov spoj? *O.:* Kod otklanjanja smetnji na mirujućim kontaktima koji prekidaju napon iznad 50 V. — *P.:* Od čega se sastoji Larsenov spoj? *O.:* Od dvije visokofrekventne prigušnice induktiviteta od 0,1 do 1 mH; prigušnice su smještene s obje strane mjesta prekidanja; kondenzator za gašenje iskara premoštava prigušnice i mjesto prekidanja. — *P.:* Kako se otklanjaju smetnje kod baterijskog zvonca? *O.:* Pomoću spoja za gašenje iskara priključenog paralelno kontaktnim mjestima. — *P.:* Kako se može izvesti spoj pa da djelovanje bude što efikasnije? *O.:* Zavojnice magneta spoje se simetrično s obzirom na kontaktna mjesta i premoste kondenzatorom za gašenje iskara tako da nastane Larsenov spoj. — *P.:* Kako se otklanjaju smetnje kod mrežnog zvonca? *O.:* Pomoću spoja za gašenje iskara priključenog paralelno kontaktnom mjestu i uključivanjem visokofrekventnog zapornog filtra paralelno mrežnim priključnicama zvonca. — *P.:* Kako se otklanjaju smetnje kod temperaturnog regulatora nekog električkog grijaćeg jastuka ili glačala? *O.:* Pomoću Larsenovog spoja (dvije visokofrekventne prigušnice posebne izvedbe i kondenzator za gašenje iskara, koji je otporan prema temperaturi).

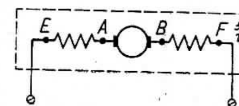
243. — Velik dio radio-smetnji otpada na *malene motore* koji se vrlo mnogo upotrebljavaju u kućanstvu i obrtu. To su na primjer sisači prašine, sušila za kosu, strojevi za šišanje, bušilice, gramofonski motori, ventilatori, kuhinjski motori itd. Svi ovi strojevi rade s *rotirajućim kontaktima.* Pri *otklanjanju smetnji kod rotirajućih kontakta* mora se prije svega paziti na *čistoću kontaktnih opruga,* odnosno *komutatorskih četkica,* i na *besprijekorno stanje kolektora,* odnosno *kliznih prstena motora!* Nadalje je važno da su četkice motora *ispravno postavljene* i da im

je *pritisak ispravan,* jer o ovome jako ovisi nastajanje iskara. Konačno treba paziti na to, da je stanje motora s obzirom na *izolaciju* besprijekorno, to jest ne smije biti spoja namotaja s kućištem niti sa zemljom; inače otklanjanje smetnji nije uopće moguće! Ako se svemu ovome posveti dovoljno pažnje, može se već time glavni dio radio-smetnji, koje potječu od motora, otkloniti bez posebnih sredstava.

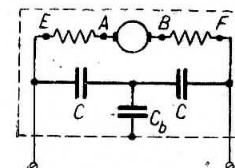
244. — O otklanjanju smetnji kod motora najvažnije smo već doznali u odsjeku 236. do 238. No sada ćemo se ovim pobliže pozabaviti. Kad se *otklanjaju smetnje kod serijskog motora,* to jest kod motora, kod kojeg je uzbudni namotaj



Sl. 249.

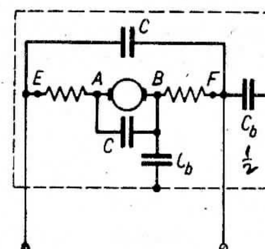


Sl. 250.



Sl. 251.

spojen u seriju s namotajem rotora, tada je potrebno najprije simetrirati uzbudni namotaj (usporedi odsjek 241). Serijski motor s nesimetričnim uzbudnim namotajem *EF* spojen je prema sl. 249. Simetriranje uzbudnog namotaja sastoji se u tome, da se namotaj u sredini prekine i da se jedan dio spoji na drugu stranu rotora; tada dobivamo simetrični spoj prema sl. 250. Dijelovi namotaja djeluju sada kao visokofrekventne prigušnice kod Larsenovog spoja (vidi sl. 244) i sprečavaju da visokofrekventne struje smetnji ulaze u mrežu. Primijenimo li sada još spoj prema sl. 241, dobivamo spoj za otklanjanje smetnji kakav vidimo na sl. 251. Zaštitni kondenzatori imaju kapacitet od C = 0,1 do 2 μF, a kondenzator za zaštitu od dodira ima kapacitet C_b = 5 000 pF (vidi odsj. 237). Ako djelovanje ovog spoja nije još dovoljno efikasno, potrebno je kolektor motora premostiti kondenzatorom za gašenje iskara. Ovo je na primjer na sl. 252. prikazano za jedan *univerzalni motor* (pogon na istosmjernu i izmjeničnu struju!). Za motor kod sisača prašine uzimaju se poprečni kapaciteti C = 0,07 μF, a zaštitni kapaciteti C_b = po 5 000 pF (sl. 252). Pri *otklanjanju smetnji kod porednog motora* simetriranje uzbudnog namotaja ne može se nažalost provesti, jer su namotaji polja i rotora, ovdje spojeni paralelno. Prema tome se uzbudni namotaj ne može iskoristiti kod otklanjanja smetnji; zato kondenzatori op-

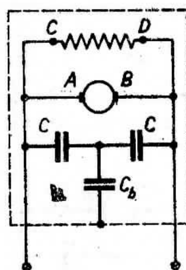


Sl. 252.

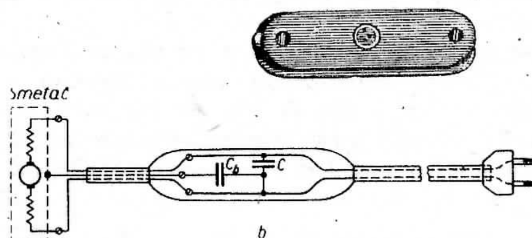


Sl. 253.

ćenito moraju imati veći kapacitet nego kod serijskog motora. Spoj za otklanjanje smetnji kod porednog motora vidi se na sl. 254. Da se poveća



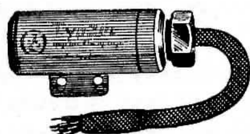
Sl. 254.



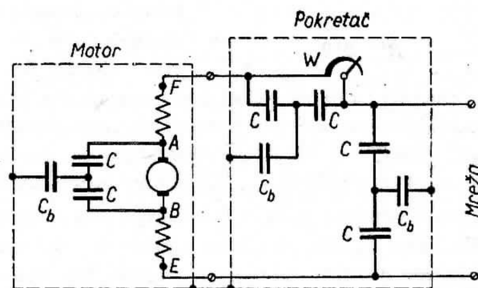
Sl. 255.

efikasnost zaštitnog spoja mogu se u mrežne vodove spojiti visokofrekventne prigušnice. Kod malenih motora je najbolje da se sredstva za zaštitu od smetnji smjeste unutar kućišta motora. Ako to nije moguće, tada se zaštitni spoj mora postaviti izvana. U ovom slučaju može se upotrijebiti kondenzator takve izvedbe, da se može ugraditi u mrežni priključni kabel (sl. 255). Kondenzator za zaštitu od smetnji ima kapacitet od $C = 0{,}1$ μF, a kondenzator za zaštitu od dodira kapacitet od C_b = = 5 000 pF. Nadalje se na sl. 256. vidi praktička izvedba kondenzatora, koji se kod uzemljenih i neuzemljenih strojeva snage do kojih 0,3 KS može dodati naknadno izvana na kućištu.

245. — Za otklanjanje smetnji kod većih motora upotrebljavaju se



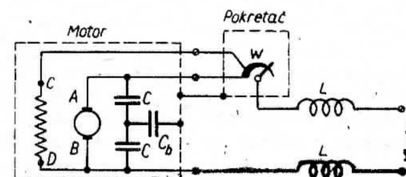
Sl. 256.



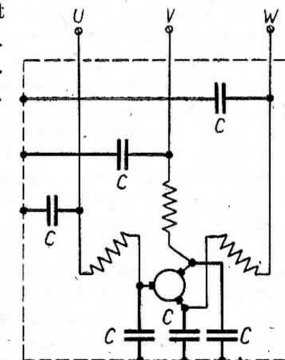
Sl. 257.

kondenzatori kapaciteta od 0,1 do 4 μF ugrađeni u metalne lonce zajedno s r a s t a l n i m o s i g u r a č i m a. Ovi se kondenzatori spajaju na kolektore, odnosno klizne prstene, a također i na mrežne priključnice. Ako motor radi s *pokretačem*, tada se smetnje moraju otkloniti i kod pokretača, jer pokretač, koji se često upotrebljava, može biti izvor smetnji. Na

sl. 257. vidimo spoj za *otklanjanje smetnji kod jednog serijskog motora s pokretačem.* Po jedan dvostruki kondenzator C spojen je paralelno kolektoru motora, paralelno pokretaču W i paralelno mrežnim priključnicama. Kućišta motora i pokretača međusobno su spojena. Budući da su u ovom slučaju tri zaštitna kondenzatora C_b spojena međusobno p a r a l e l n o, ne smiju njihovi kapaciteti biti veći od 2 000 pF da zajednički kapacitet ne bi bio veći od 6 000 pF. Nadalje na sl. 258. vidimo *otklanjanje smetnji kod porednog motora s pokretačem.* Spoj čini dvostruki kondenzator C paralelno kolektoru i dvije visokofrekventne prigušnice L u mrežnim vodovima. Na koncu ćemo još upozoriti na to, da se pri *otklanjanju smetnji kod trofaznih motora* mora svaka četkica kolektora, odnosno svaki klizni prsten rotora, preko kapaciteta od kojih 0,1 μF spojiti s kućištem motora. Većinom se i na mrežne priključnice spajaju kondenzatori, odnosno u mrežne vodove stavljaju visokofrekventne prigušnice (sl. 259). Mora se, dakle, kako kod motora, tako i kod generatora, s v a k a f a z a preko jednog kondenzatora (s rastalnim osiguračem), kapacitivno kratko spojiti s kućištem stroja.



Sl. 258.



Sl. 259.

Ponavljanje

Pri *otklanjanju smetnji kod rotirajućih kontakta* treba u prvom redu paziti na čistoću kontaktnih opruga, odnosno komutatorskih četkica, na besprijekorno stanje kolektora, odnosno kliznih prstena, na ispravno postavljanje i ispravan pritisak četkica, kao i na to, da je s obzirom na izolaciju motor u besprijekornom stanju. Kod *serijskih i porednih motora smetnje se otklanjaju* pomoću kondenzatora za zaštitu od smetnji i kondenzatora za zaštitu od dodira; pri tome se uzbudni namotaj serijskih motora spoji s i m e t r i č n o (Larsenov spoj). Ako serijski i poredni motori imaju *pokretač* moraju se i kod pokretača otkloniti smetnje. Pri *otklanjanju smetnji kod trofaznih motora* mora se svaka četkica, odnosno svaki klizni prsten, dakle svaka faza, preko jednog kondenzatora spojiti s kućištem motora. Najbolje je da se sredstva za zaštitu od smetnji smjeste unutar kućišta motora. Ako ovo nije moguće moraju se zaštitna sredstva spojiti izvana (kondenzatori posebne izvedbe).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji izvori smetnji ometaju radio-prijem naročito često? *Odgovor:* Maleni motori koji se vrlo mnogo upotrebljavaju u kućanstvu i u obrtu. — *P.*: Kako se kod nekog motora mogu u velikoj mjeri otkloniti smetnje bez posebnih sredstava? *O.*: Tako da se temeljito očiste kontaktne opruge, odnosno komutatorske četkice i kolektor, odnosno klizni prstenovi, zatim da se četkice ispravno postave i da im se namjesti ispravan pritisak, a osim toga svi dijelovi motora moraju biti besprijekorno izolirani prema zemlji. — *P.*: Koja se sredstva upotrebljavaju za otklanjanje smetnji kod serijskih i porednih motora? *O.*: Uglavnom kondenzatori za zaštitu od smetnji i kondenzatori za zaštitu od dodira. — *P.*: Koje se daljnje mjere primjenjuju, kad se otklanjaju smetnje kod serijskih motora? *O.*: Simetrira se uzbudni namotaj. — *P.*: Gdje valja smjestiti sredstva za otklanjanje smetnji? *O.*: Unutar kućišta motora. — *P.*: Što treba činiti, ako ovo nije moguće? *O.*: Zaštitna sredstva staviti izvan kućišta motora ili upotrijebiti kondenzator za ugradnju u mrežni kabel. — *P.*: Kako se otklanjaju smetnje kod serijskog motora s pokretačem? *O.*: Tako, da se po jedan dvostruki kondenzator spoji paralelno kolektoru, paralelno pokretaču i paralelno mrežnim priključnicama. — *P.*: Kako se otklanjaju smetnje kod porednog motora s pokretačem? *O.*: Tako da se paralelno kolektoru spoji dvostruki kondenzator, a u mrežne vodove da se ugrade dvije visokofrekventne prigušnice. — *P.*: Kako se otklanjaju smetnje kod trofaznog motora? *O.*: Svaka četkica kolektora, odnosno svaki klizni prsten rotora, spoji se preko jednog kondenzatora s kućištem motora; ako je potrebno, treba kondenzatore spojiti još i na mrežne priključnice, odnosno u mrežne vodove staviti visokofrekventnu prigušnicu.

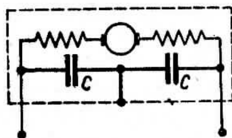
Pitanja

99. Kako se može otkloniti ili ublažiti većina radio-smetnji koje uzrokuju kontakti?

100. Koja smo sredstva upoznali, pomoću kojih se otklanjaju smetnje kod malenih motora?

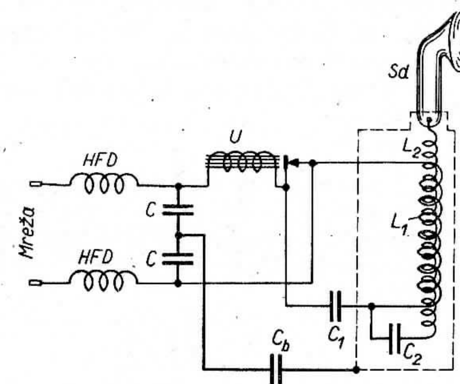
Zadaci

72. Na neuzemljeni maleni motor prema slici spojena su dva jednaka kondenzatora *C*. Koji najveći kapacitet smije imati svaki kondenzator kod napona mreže od 220 V?

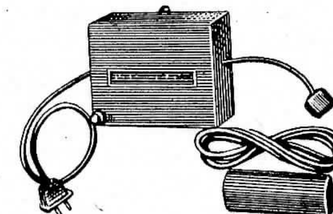


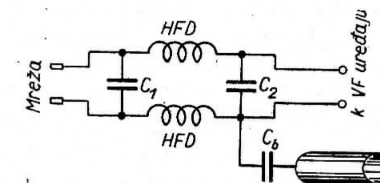
73. Neki motor ima snagu od 5 KS i priključen je na napon mreže od 440 V. Za koliku pogonsku struju treba dimenzionirati visokofrekventne prigušnice spojene u mrežne vodove?

246. — Kao daljnji primjer iz prakse otklanjanja smetnji upoznat ćemo *otklanjanje smetnji kod jednog visokofrekventnog medicinskog aparata.* Ovi aparati, kao što smo već spomenuli u dijelu I, odsjek 129, jesu naročito neugodni radiosmetači, jer oni direktno proizvode visokofrekventne titraje (sl. 260). Visokofrekventni titraji se kao s i m e t r i č n i valovi šire preko mreže, a kao n e s i m e t r i č n i valovi preko strujnog kruga: automatski prekidač *U* — visokofrekventni transformator L_1—L_2 (Teslin transformator) — elektroda *Sd* — pacijent — zemlja — mreža. Radi otklanjanja smetnji visokofrekventni transformator ima m e t a l n u o b u j m i c u *H* s rasporom, koju drži pacijent. Struje smetnji teku tada samo od transformatora preko elektrode k pacijentu i d i r e k t n o natrag k transformatoru. Obujmica *H* je preko zaštitnog kondenzatora C_b spojena sa srednjim odvojkom dvostrukog kondenzatora C. Ovaj dvostruki kondenzator zajedno s visokofrekventnim prigušnicama *HFD* čini v i s o k o f r e k v e n t n i z a p o r n i f i l t a r, koji sprečava prelaženje visokofrekventnih titraja u mrežu. Na sl. 261 vidimo praktičku izvedbu ovakvog zaštitnog uređaja; lijevo se nalazi mrežni utikač, u sredini metalna kutija sa zaštitnim elementima, desno priključnica za visokofrekventni uređaj i obujmica. Spoj ovog zaštitnog uređaja vidi se na sl. 262. Kod upotrebe visokofrekventnih medicinskih aparata treba nadalje paziti na to, da usprkos zaštitnih mjera pacijent ne djeluje kao »antena« i ne emitira visokofrekventne titraje. Zbog toga je potrebno da pacijent za vrijeme rada s aparatom bude što dalje od vodova rasvjetne mreže, vodova zvonca, plinovoda, vodovoda itd.



Sl. 260.

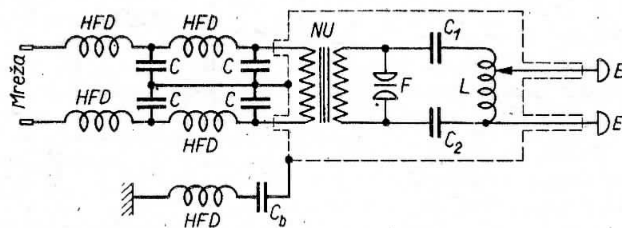

Sl. 261.



Sl. 262.

247. — Još teže je *otklanjanje smetnji kod dijatermijskog aparata.* Dijatermijski aparat proizvodi, kao što je poznato, vrlo jake visokofre-

kventne struje, koje se upotrebljavaju za lokalno ugrijavanje bolesnih mjesta tijela. Preko niskofrekventnog transformatora *NU* dolazi izmjenični napon na iskrište *F* (usporedi dio I, odsjeke 127 i 128), koje titrajni krug C_1—L—C_2 pobuđuje na vlastito titranje (sl. 263). Ovako proizvedeni visokofrekventni titraji dovode se preko elektroda *E* pacijentu. Dvostruki visokofrekventni zaporni filtar, koji se sastoji od dvostrukog konden-



Sl. 263.

zatora $C \approx 1$ uF i visokofrekventnih prigušnica *HFD*, ugođen je na osnovnu frekvenciju aparata; njegov je zadatak da spriječi ulazak visokofrekventnih titraja u mrežu. No s ovim sredstvima smetnje se ne mogu otkloniti u dovoljnoj mjeri. Mora se štaviše cijeli aparat oklopiti metalom. Oklop je preko zaštitnog kondenzatora C_b i visokofrekventne prigušnice *HFD* uzemljen. Nadalje se mora bezuvjetno paziti na to, da se visokofrekventni titraji ne bi prenijeli na druge metalne prenosače smetnji. Ovo se često može spriječiti tako, da se prenosači smetnji oklope bakarnom mrežom ili sličnim. Ako se sa svim ovim ne postigne željeni uspjeh, potrebno je da se dijatermijski aparat i pacijent smjeste u prostoriju, koja je sa svih strana oklopljena metalom, dakle u takozvani Faradayev kavez. Za oklapanje se može upotrijebiti bakrena ili željezna mreža. U ovom slučaju svi vodovi se moraju na ulazu u oklopljenu prostoriju snabdjeti visokofrekventnim zapornim filtrima, da se štetni visokofrekventni titraji kratko spoje; inače bi se ovi titraji mogli preko vodova širiti u vanjski prostor. Faradayev kavez se spoji s oklopnim kućištem dijatermijskog aparata i prema tome preko C_b — *HFD* uzemlji.

248. — Vrlo neugodni izvori smetnji su također *električke željeznice*, naročito *tramvaji*. Ovdje radio-smetnje nastaju uglavnom zbog prekida dovoda struje između gornjeg voda i klizača (lira ili kotačić), a također između kotača i tračnica, do čega dolazi zbog neravnosti tračnica, pijeska, itd. Ovi prekidi struje uzrokuju iskre i time visokofrekventne titraje koji mogu smetati radio-prijem i na kilometre daleko. No ove smetnje djeluju samo onda neugodno, ako pogonska struja ne iznosi više od kojih 2,5 A; tada naime na mjestima prekida nastaju *iskre prekida*. Ovo je slučaj kada tramvaj navečer vozi s upaljenom rasvjetom, a motor je iskopčan, tako da teče samo rasvjetna struja. Kod većih jakosti struja, dakle kod ukopčanog motora, na mjestima prekida ne nastaju

iskre, nego *luk*, tako da ne dolazi do prekida struje, pa prema tome ni do visokofrekventnih titraja. *Otklanjanje smetnji kod tramvaja* može se izvesti tako, da se klizni luk snabdije prikladnim kliznim uloškom; pokusima je utvrđeno da se kliznim uloškom od *ugljena* mogu već kod slabijih struja proizvesti ispražnjavanja preko luka. Metalni luk uzrokuje hrapavost na gornjem vodu, dok ga luk s ugljenom polira. Širenje štetnih titraja preko pogonske mreže može se spriječiti ukapčanjem kondenzatora između gornjeg voda i zemlje (tračnica), to jest vodovi se na udaljenostima od 30 do 70 m preko kondenzatora s kapacitetima od kojih 1 do 4 μF, kratko spoje. Ovi kondenzatori moraju imati rastalne osigurače, da se gornji vod u slučaju proboja kondenzatora zaštiti od zemnog spoja. Da se otklone radio-smetnje uzrokovane prekidima rasvjetne struje, mogu se paralelno rasvjetnom vodu između klizača i zemlje spojiti kondenzatori s kapacitetom od 20 do 30 μF.

Ponavljanje

Prilikom *otklanjanja smetnji kod visokofrekventnih medicinskih aparata* širenje simetričnih valova smetnji sprečava se visokofrekventnim zapornim filtrom u mrežnim vodovima. Nadalje se visokofrekventni transformator, koji je spojen s elektrodom, oklopi rasporenom metalnom obujmicom; time se sprečava širenje nesimetričnih valova smetnji izvan kruga; transformator—elektroda—pacijent—transformator. *Otklanjanje smetnji kod dijatermijskog aparata* vrši se pomoću dvostrukog visokofrekventnog zapornog filtra, koji je ugođen na vlastitu frekvenciju aparata i spojen u mrežni vod; osim ovoga mora se dijatermijski aparat pomno oklopiti. U mnogim slučajevima je štaviše potrebno da se dijatermijski aparat i pacijent smjeste u prostoriju oklopljenu sa svih strana metalom, dakle u Faradayev kavez, i da se u sve vodove na ulazu u ovu prostoriju ugrade visokofrekventni zaporni filtri. Radio-smetnje od električkih željeznica, a naročito od tramvaja, nastaju zbog prekida dovoda struje između gornje žice i klizača, kao i između kotača i tračnica. Ove smetnje su samo onda neugodne, ako na mjestima prekida nastaju iskre prekidanja; to je slučaj kada su struje slabije od kojih 2,5 A. Kod jačih struja nastaje električki luk, koji ne proizvodi visokofrekventne titraje. *Otklanjanje smetnji kod tramvaja* vrši se pomoću ugljenog klizača. Širenje radio-smetnji od tramvaja sprečava se tako, da se između gornje žice i zemlje, odnosno između klizača i zemlje ukopčaju kondenzatori.

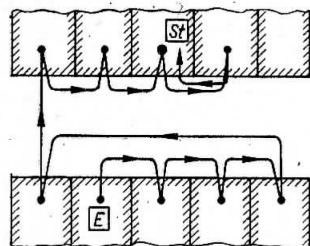
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se otklanjaju smetnje kod visokofrekventnih medicinskih aparata? *Odgovor:* U mrežne vodove umeće se visokofrekventni zaporni filtar, nadalje se visokofrekventni transformator oklapa metalnom obujmicom s rasporom. — *P.:* Koje daljnje mjere opreza treba poduzeti kod upotrebe visokofrekventnih medicinskih aparata? *O.:* Pacijent ne smije biti u blizini metalnih prenosača smetnji. — *P.:* Kakve se zaštitne mjere poduzimaju kod dijatermijskih aparata? *O.:* U mrežne vodove umeće se dvostruki visokofrekventni zaporni filtar; osim toga mora se cijeli aparat pomno oklopiti. — *P.:* Jesu li ove zaštitne mjere kod dijatermijskih aparata uvijek dostatne? *O.:* Ne; u težim slučajevima mora se dijatermijski aparat i pacijent smjestiti u Faradayev kavez. — *P.:* Što je Faradayev kavez? *O.:* Prostorija sa svih strana oklopljena

metalom. — *P.*: Kakva oklopna sredstva dolaze ovdje u obzir? *O.*: Metalne mreže. — *P.*: Na što treba paziti kod upotrebe Faradayevog kaveza? *O.*: U sve vodove moraju se na ulazu u kavez ugraditi visokofrekventni zaporni filtri da se visokofrekventni titraji kratko spoje. — *P.*: Što uzrokuje radio-smetnje kod električkih željeznica? *O.*: Prekidi dovoda struje između gornje žice i klizača, odnosno između kotača i tračnica. — *P.*: Uz koje uvjete se ove smetnje naročito neugodno zamjećuju? *O.*: Samo onda, ako je pogonska struja manja od kojih 2,5 A. — *P.*: Kako se ovo tumači? *O.*: Kod struja ispod kojih 2,5 A dolazi na mjestima prekida do prekidnih iskara, dok se kod jačih struja stvara električki luk, koji ne uzrokuje radio-smetnje. — *P.*: Kako se smetnje mogu otkloniti kod električkih tramvaja? *O.*: Tako da se kao klizni materijal umjesto metala upotrijebi ugljen; osim toga između gornje žice, odnosno klizača i zemlje, spajaju se kondenzatori.

Traženje izvora smetnji

249. — Prilikom *traženja izvora smetnji*, dakle prilikom utvrđivanja gdje se izvor smetnji nalazi, najprije je potrebno da se šumovi smetnji pomno slušaju, kako bi se na taj način moglo ustanoviti o kojoj se vrsti izvora smetnji radi (usporedi odsjek 233). U razgovoru s posjednikom prijemnika može se većinom doći do daljnjih podataka o izvoru smetnji. Traženje smetača znatno se olakšava upotrebom posebnog *prijemnika za traženje smetnji.* Navodimo kao primjer da se jedan od ovakvih prijemnika sastoji od visokofrekventnog stupnja s pentodom, audiona s reakcijom i transformatorom vezanog niskofrekventnog stupnja; pogonske napone daje suha baterija. Kao prijemna antena služi bilo ugrađena o k v i r n a a n t e n a ili malena r u č n a a n t e n a. Radio-smetnje najprije slušamo u blizini smetanog prijemnika, i to s prijemnikom za traženje smetnji, koji se pri tome namješta na najveću glasnoću (ugađanje na val smetnji!). Sada se s prijemnikom za traženje smetnji, ne mijenjajući namještenu glasnoću, udaljujemo u smjeru, u kojem se izvor smetnji vjerojatno nalazi. Pri tome od vremena do vremena slušamo da ustanovimo, da li je šum smetnji postao glasniji ili tiši. Kod ovoga dobro dolazi ručna antena; ova antena se naime dolje u kući prbliži na primjer sklopki za rasvjetu. Porast jakosti šuma pokazuje da smo se više približili traženom izvoru smetnji, dok opadanje jakosti šuma ukazuje na udaljivanje od izvora smetnji. Tako na koncu dolazimo do kuće, u kojoj se nalazi smetač. Na sl. 264. je kao primjer nacrtan put traženja smetnji. *E* je smetani prijemni uređaj, a *St* traženi izvor smetnji. Veličina crnih krugova odgovara jakosti šuma. Sada se u kući, u kojoj se nalazi izvor smetnji, u svim katovima pomoću ručne antene dodiruju



Sl. 264.

vodovi i metalni dijelovi, koji su električki vezani s rasvjetnim vodovima (na primjer vodovi za zvonce, plinovodi itd.), dok se konačno ne utvrdi mjesto izvora smetnji.

Mjerenje napona smetnji

250. — Da se mogu proračunati sredstva za zaštitu od smetnji potrebno je izvršiti *mjerenja napona smetnji.* Ako sa $\mathfrak{U}_e$ označimo korisni napon, a sa $\mathfrak{U}_s$ napon smetnji u prijemnoj anteni (između antenske i uzemne priključnice prijemnika), sa $\mathfrak{U}_{km}$ napon smetnji na priključnicama izvora smetnji, kojemu su d o g r a đ e n a s r e d s t v a z a z a š t i t u o d s m e t n j i, a sa $\mathfrak{U}_{ko}$ napon smetnji na priključnicama izvora smetnji, koji radi b e z s r e d s t a v a z a z a š t i t u o d s m e t n j i, tada vrijede slijedeće jednadžbe za *faktor smetnji* K_s, *faktor prijenosa* K_p *i faktor preostalih smetnji* K_r:

$$K_s = 100 \cdot \frac{\mathfrak{U}_s}{\mathfrak{U}_e} \; [\%] \quad \ldots\ldots \quad (38)$$

$$K_p = 100 \cdot \frac{\mathfrak{U}_s}{\mathfrak{U}_{km}} \; [\%] \quad \ldots\ldots \quad (39)$$

$$K_r = 100 \cdot \frac{\mathfrak{U}_{km}}{\mathfrak{U}_{ko}} \; [\%] \quad \ldots\ldots, \quad (40)$$

Iz jedn. (39) slijedi: $\mathfrak{U}_{km} = 100\, \mathfrak{U}_s/K_p$, a iz jedn. (38): $\mathfrak{U}_s = K_s \cdot \mathfrak{U}_e/100$, dakle: $\mathfrak{U}_{km} = 100 \cdot K_s \cdot \mathfrak{U}_e/(K_p \cdot 100 = K_s \cdot \mathfrak{U}_e/K_p$. Ovim iz jedn. (40) dobivamo:

$$K_r = 100 \cdot \frac{K_s}{K_p} \cdot \frac{\mathfrak{U}_e}{\mathfrak{U}_{ko}} \; [\%] \quad \ldots\ldots \quad (41)$$

Prema odsjeku 234. faktor smetnji mora biti $K \leq 1\%$.

251. — Budući da za korisni napon prijemne antene vrijedi $\mathfrak{U}_e = \mathfrak{E} \cdot h_{ef}$ (vidi odsjek 234), to se iz jedn. (38) za faktor smetnji dobiva: $K_s = 100 \cdot \mathfrak{U}_s/\mathfrak{E} \cdot h_{ef})$. Iz jedn. (39) slijedi: $\mathfrak{U}_s = K_p \cdot \mathfrak{U}_{km}/100$; prema tome dobivamo: $K_s = 100 \cdot K_p \cdot \mathfrak{U}_{km}/(100 \cdot \mathfrak{E} \cdot h_{ef}) = K_p \cdot \mathfrak{U}_{km}/(\mathfrak{E} \cdot h_{ef})$. S ovim se za jakost električkog polja dobiva:

$$\mathfrak{E} = \frac{K_s}{K_p} \cdot \frac{\mathfrak{U}_{km}}{h_{ef}} \quad \ldots\ldots \quad (42)$$

Iz ove jednadžbe se uz dani napon smetnji $\mathfrak{U}_{km}$ na izvoru smetnji i dani faktor prijenosa K_p može izračunati jakost električkog polja $\mathfrak{E}$, koje je

potrebno za nesmetani radioprijem. Izraz $S_e = K_p/(K_s \cdot h_{ef})$ naziva se također *osjetljivost na smetnje;* s ovim dobivamo:

$$\boxed{\mathfrak{E} = S_e \cdot \mathfrak{U}_{km}} \quad \ldots\ldots \quad (43)$$

Prema mnogobrojnim mjerenjima za antene s oklopljenim dovodom prosječno je $S_e \approx 0{,}1$, za vanjske antene $S_e \approx 10$, a za sobne antene $S_e \approx 100$. Na temelju ovih statističkih srednjih vrijednosti moguće je da se provede standardizacija sredstava za zaštitu od smetnji. Bilo bi naime vrlo nepraktično, da se za svaki uređaj i za svaki slučaj smetnji moraju posebno zaštitna sredstva proračunavati i prema tome izvoditi.

Ponavljanje

Kod *traženja izvora smetnji* treba najprije šumove smetnji pomno slušati preko smetanog prijemnika, da se na taj način ustanovi vrsta izvora smetnji. Iza toga slijedi traženje smetača pomoću prijemnika, koji ima okvirnu ili ručnu antenu. Ručnom antenom traže se smetnje na rasvjetnoj mreži u susjednim kućama. Daljnje traženje ravna se prema jakosti šuma, koji se čuje preko prijemnika za traženje smetnji. Da se proračunaju sredstva za zaštitu od smetnji potrebno je *mjeriti napon smetnji.* U tehnici zaštite od smetnji veliku važnost imaju slijedeći pojmovi: *faktor smetnji* = napon smetnji na prijemnoj anteni: korisni napon na prijemnoj anteni; *faktor prijenosa* = napon smetnji na prijemnoj anteni: napon smetnji na izvoru smetnji bez sredstava za zaštitu od smetnji; *faktor preostalih smetnji* = napon smetnji na izvoru smetnji sa sredstvima za zaštitu od smetnji : napon smetnji na izvoru smetnji bez sredstava za zaštitu od smetnji. Pomoću ovih pojmova i efektivne visine prijemne antene može se naći jakost prijemnog polja potrebna za nesmetani radioprijem; vrijedi $\mathfrak{E} = S_e \cdot \mathfrak{U}_{km}$, gdje je S_e osjetljivost na smetnje, a $\mathfrak{U}_{km}$ napon smetnji mjeren na priključnicama izvora smetnji, koji je snabdjeven sredstvima za zaštitu od smetnji. Osjetljivost na smetnje jednaka je odnosu faktora prijenosa prema faktoru smetnji podijeljenom s efektivnom visinom prijemne antene.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čime počinje traženje izvora smetnji? *Odgovor:* Pomnim slušanjem šumova smetnji preko smetanog prijemnika i razgovorom s posjednikom smetanog radio-uređaja. — *P.:* Što slijedi iza toga? *O.:* Traženje smetača u susjednim kućama. — *P.:* Koja se sredstva za ovo upotrebljavaju? *O.:* Prijemnik za traženje smetnji koji ima pogon na baterije. — *P.:* S kakvim prijemnim antenama radi ovaj prijemnik? *O.:* S okvirnom i ručnom antenom. — *P.:* Kojoj svrsi služi ručna antena? *O.:* Pomoću ručne antene se »otipkava« rasvjetna mreža u kući. — *P.:* Po čemu se pozna približavanje izvoru smetnji? *O.:* Po većoj jakosti šuma smetnji. — *P.:* Kako se može pronaći izvor smetnji u kući, za koju se ustanovilo da u njoj postoji izvor smetnji? *O.:* Tako da se u svim katovima pomoću ručne antene otipkavaju vodovi i metalni dijelovi, koji su u vezi s vodovima električke rasvjete. — *P.:* Koji se naponi moraju izmjeriti da bi se mogla proračunati zaštitna sredstva? *O.:* Napon smetnji na prijemnoj anteni, napon smetnji na priključnicama izvora smetnji, kojemu su dodana zaštitna sredstva, i napon smetnji na priključnicama izvora smetnji, kad ovaj radi bez zaštitnih sredstava. — *P.:* Koji se važni pojmovi iz ovoga dobivaju? *O.:* Faktor smetnji, faktor prijenosa i faktor preostalih smetnji. — *P.:* Što razumijevamo pod osjetljivošću na smetnje kod nekog prijemnog uređaja? *O.:* Odnos faktora prijenosa prema faktoru smetnji podijeljeno s efektivnom visinom prijemne antene. — *P.:* Kolika mora biti jakost prijemnog polja za nesmetani radio-prijem? *O.:* Jednaka produktu iz osjetljivosti na smetnje i napona smetnji, koji vlada na priključnicama izvora smetnji snabdjevenog zaštitnim sredstvima.

Pitanja

101. Zašto su visokofrekventni medicinski aparati i dijatermijski aparati naročito neugodni radio-smetači?

102. Što daje faktor smetnji i koliki on smije biti s obzirom na nesmetan radioprijem?

Zadaci

74. Neki prijemni radio-uređaj ima faktor smetnji 1%, faktor prijenosa 15% i efektivnu visinu antene od 1,5 m. Na priključnicama izvora smetnji vlada bez zaštitnih sredstava napon smetnji od 10 mV, a sa zaštitnim sredstvima napon smetnji od 50 μV, a) Kolika je jakost prijemnog polja potrebna za nesmetani prijem? b) Koliki je faktor preostalih smetnji?

Odgovori na pitanja

1. — Zvučni valovi su mehanički longitudinalni valovi, a radio-valovi su elektromagnetski transverzalni valovi.

2. — Od kojih 16 do 20 000 Hz.

3. — Frekvencija, valna dužina, brzina zvuka, brzinska amplituda, zvučni tlak, akustička impedancija i glasnoća.

4. — Uho može primiti odnos zvučnog tlaka od 1 : 10^7, a odnos zvučne snage od 1 : 10^{14}.

5. — Ako imaju jednaki broj fona.

6. — Zato što se promjene glasnoće manje od 1 fona jedva mogu osjetiti, pa su prema tome bez praktičkog značenja.

7. — Regulacija glasnoće mora biti prema karakteristici uha, to jest kod smanjenja glasnoće moraju se srednje i visoke tonske frekvencije jače oslabiti.

8. — S vremenskim procesom nabijanja i izbijanja kondenzatora, odnosno s procesom ukapčanja i iskapčanja nekog induktiviteta u krug istosmjerne struje.

9. — Vrijeme odjeka, faktor refleksije, faktor apsorpcije i otvoren prozor.

10. — Oko 10 do 150 mV/μb, ako je iza mikrofona upotrijebljen transformator s odnosom zavoja 1 : 25.

11. — Preko prilagodnog transformatora, koji otpor voda od 200 oma prilagođuje na visok otpor rešetkinog kruga ulazne elektronke pojačala.

12. — Kondenzatorski mikrofoni; oni se upotrebljavaju na primjer u radiodifuznom pogonu, kod snimanja tonfilmova i gramofonskih ploča, kod razglasa i za mjerne svrhe.

13. — To su tlačni mikrofoni, gradijentni mikrofoni (»osmičasti mikrofoni«) i tlačno-gradijentni mikrofoni (»bubrežasti mikrofoni«).

14. — Ugljeni mikrofoni, mikrofoni s vrpcom, mikrofoni s titrajnom zavojnicom i jednostavni kondenzatorski mikrofoni.

15. — Ugljene mikrofone, mikrofone s vrpcom, mikrofone s titrajnom zavojnicom, kondenzatorske mikrofone i kristalne mikrofone.

16. — Kod elektrodinamičkih i piezoelektričkih mikrofona.

17. — Onda kada na kotvu zvučnika u stanju mirovanja djeluju jednostrano magnetske sile.

18. — Kod četvoropolnog sistema kotva titra između polova permanentnog magneta, a kod sistema sa slobodnim titranjem ispred polova permanentnog magneta.

19. — Općenito manja od 10 oma; kod frekvencije od 800 Hz impedancija je otprilike jednaka 1,25-strukom omskom otporu titrajne zavojnice (vidi dio II, odsjek 127).

20. — Zato, što je zbog velike koercitivne sile modernih magnetskih čelika najveći dio magnetskog sistema građen od mekog željeza.

21. — Elektromagnetski, elektrodinamički, odnosno permanentnodinamički, elektrostatski (kondenzatorski) i piezoelektrički (kristalni), zvučnik.

22. — Zato što govorna snaga u velikoj mjeri ovisi o mjesnim i prostorno-akustičkim prilikama.

23. — Zvonasti zvučnici emitiraju zvučne valove na sve strane jednoliko, dok usmjerni zvučnici usmjeruju zvučne valove u određeni smjer.

24. — Usmjerni zvučnik s dugim eksponencijalnim lijevkom i jednostavni, odnosno dvostruki usmjerni zvučnik s kratkim, širokim lijevkom.

25. — Ona je okomita na os zvučnika.

26. — Gljivaste zvučnike, zvučnike poredane u obliku prstena i zvučnike za ugrađivanje u zemlji.

27. — Zbog nesimetrije L-regulatora mora uvijek uzdužni otpor regulatora biti na strani pojačala.

28. — Upotrebljavaju se ne samo za regulaciju glasnoće kod zvučnika, nego i u ulaznom krugu pojačala ili između pretpojačala i glavnog pojačala razglasnog uređaja.

29. — Od šelaka s dodatkom veznih sredstava, starog materijala, mineralnih materijala i materijala za bojenje.

30. — 10 : 0,28 $\approx$ 36 brazda.

31. — To je produkt iz najveće amplitude kotve i kružne frekvencije, dakle najveća brzina kotve.

32. — Sa što manjim pritiskom zvučnice i prigušivanjem kotve pomoću ležaja od gume.

33. — Mora imati što manji pritisak na ploču i što manju povratnu silu.

34. — Elektromagnetsku, elektrodinamičku i piezoelektričku zvučnicu.

35. — Kod elektromagnetske zvučnice je izmjenični napon proporcionalan brzinskoj amplitudi (amplituda $\times$ kružna frekvencija), a kod piezoelektričke zvučnice samo amplitudi igle (amplitudi brazde).

36. — Zato što se vrh igle na ploči pomalo troši; ovo povećava trošenje ploče i pogoršava reprodukciju visokih tonskih frekvencija.

37. — O broju okretaja i o frekvenciji izmjenične struje, koja se upotrebljava za osvjetljavanje ploče.

38. — Stupanj djelovanja ovih elektromotora je vrlo malen (0,1 do 0,2), jer se radi o preciznim motorima.

39. — Za pojačavanje izmjeničnih napona iza zvučnice upotrebljava se audionski stupanj, odnosno stupanj anodnog demodulatora, a također stupanj visokofrekventnog i međufrekventnog pojačala, a osim ovoga cijelo niskofrekventno pojačalo prijemnika.

40. — Tonfrekventno područje ispod kojih 250 Hz.

41. — U području od 4 000 do 7 000 Hz.

42. — Radio-prijemnik ili pojačalo s tonfrekventnom snagom barem od 3 W, jači motor s posve ravnim tanjurom, ručka s naročitom glavom za rezanje (jaka izvedba zvučnice) i uređaj za pomak rezača.

43. — Ploče za snimanje moraju se dati rezati bez većeg utroška snage, a ipak da su dovoljno tvrde, kako bi se često mogle reproducirati; nadalje ploče moraju biti što manje osjetljive na vlagu i toplinu.

44. — Zato što je obična igla suviše oštra, te bi meku površinu ploče izderala.

45. — Gramofonske uređaje, elektromagnetske uređaje (stroj za snimanje na čeličnu vrpcu, magnetofon), tonfilmski uređaj i mehanografički uređaj po *Philips-Milleru*.

46. — Magnetizirana vrpca se jednolično giblje kroz glavu za reprodukciju; time se uslijed različite magnetske indukcije u zavojnicama glave za reprodukciju induciraju izmjenični naponi, koji se na uobičajeni način dovode niskofrekventnom pojačalu i konačno zvučniku.

47. — Magnetski film je znatno lakši od čelične vrpce i može se rezati i lijepiti.

48. — Na mjerenja izmjeničnih napona i izmjeničnih struja.

49. — Pomoću tonski moduliranog mjernog odašiljača može se radio-prijemnik ispitati pod istim uvjetima kao kod stvarnog pogona.

50. — Jednostavni kapacitivni i višestepeni omski djelitelj visokofrekventnog napona.

51. — Efektivne vrijednosti, jer se za mjerenje struje iskorištava strujna toplina.

52. — Termoelemenat se sastoji od dvije različite metalne žice, koje su međusobno svarene; ako se svareno mjesto ugrije, nastaje između slobodnih krajeva žica termoelektrički napon.

53. — Pomoću »svjetlosne kazaljke«.

54. — Termičkim instrumentom, instrumentima s termopretvaračem, instrumentima sa suhim ispravljačima, elektrostatskim voltmetrima i elektronskim voltmetrima.

55. — Diodni voltmetar, voltmetar s anodnim ispravljačem, audionski voltmetar i elektronski voltmetar s pretpojačalom.

56. — Kod voltmetra s anodnim ispravljanjem priključivanjem napona na rešetku anodna struja raste, a kod audionskog voltmetra pada.

57. — Kompenziranjem anodne struje mirovanja pomoću spoja s mostom ili pomoću jednakih, ali suprotnih pomoćnih struja, a također i primjenom aperiodskog pretpojačala.

58. — Po *E*—*I*-metodi ili pomoću Wheatstoneovog mosta.

59. — Za mjerenje otpora potreban je samo jedan baždareni otpor; ostala dva otpora nadomještena su kliznom žicom.

60. — Ako se upotrijebi preklopnik, dovoljan je jedan voltmetar.

61. — Zato što se kod ovih metoda radi s mostom.

62. — Ionska rešetkina struja nastaje uslijed procesa ionizacije, a elektronska rešetkina struja uslijed pozitivnog ili nedovoljno negativnog prednapona.

63. — O veličini induktiviteta i kapaciteta titrajnog kruga.

64. — Pojavu da treptajni ton nestane, ako su frekvencije, koje se miješaju, jednake.

65. — Jednostavni valomjer, koji se sastoji do titrajnog kruga s malenim gubicima i indikatora, zatim valomjer sa zujalom i elektronski valomjer.

66. — Vlastita valna dužina, vlastiti kapacitet, vlastiti induktivitet i ukupni otpor antene.

67. — To je valna dužina osnovne frekvencije, koja je određena vlastitim kapacitetom i vlastitim induktivitetom antene.

68. — Napon u anteni = jakost električnog polja × efektivna visina antene ($\mathfrak{U} = \mathfrak{E} \cdot h_{ef}$).

69. — Mjerenjem osjetljivosti, selektivnosti, karakteristike automatske regulacije fejdinga i kvalitete tona.

70. — Ovisnost niskofrekventnog izlaznog napona o frekvenciji moduliranog visokofrekventnog ulaznog napona.

71. — L i n e a r n a izobličenja nastaju uslijed strmih rezonantnih krivulja titrajnih krugova, uslijed suviše malene pojasne širine međufrekventnih filtara ili uslijed rezonantnih izdizanja, koja uzrokuju prijenosni elementi (na primjer niskofrekventni transformatori i niskofrekventne prigušnice); n e l i n e a r n a izobličenja nastaju u demodulatoru, elektronkama pojačala, preslabo dimenzioniranim željeznim jezgrama niskofrekventnih transformatora itd.

72. — Treptajni tongenerator.

73. — Instrumenti sa suhim ispravljačima.

74. — O metodama, koje se osnivaju na primjeni baždarenih titrajnih krugova, baždarenih izvora zvuka (muzičke viljuške, svirale, dobro ugođeni muzički instrumenti itd.) i spojeva s mostom.

75. — Iz toka frekventne krivulje može se vidjeti veličina linearnih izobličenja.

76. — Dodavanjem paralelnih otpora.

77. — Odnos kvadratnog korijena iz sume kvadrata tjemenih, odnosno efektivnih vrijednosti nadvalova prema tjemenoj, odnosno efektivnoj vrijednosti osnovnog vala nelinearno izobličenog izmjeničnog napona.

78. — Za mjerenje brzinske amplitude zvuka, jakosti zvuka i zvučnog pritiska.

79. — Kod frekvencije od 1 000 Hz glasnoća je proporcionalna logaritmu jakosti zvuka (Weber-Fechnerov zakon; vidi odsjek 11).

80. — S u b j e k t i v n o mjerenje glasnoće s mjeračem šuma po *Barkhausenu* i o b j e k t i v n o mjerenje glasnoće pomoću »umjetnog uha«.

81. — Odnos kvadratnog korijena iz sume kvadrata efektivnih zvučnih pritisaka nadvalova prema efektivnom zvučnom pritisku osnovnog vala tona, koji emitira zvučnik.

82. — Katodna elektronka, koja pomoću otklanjanja katodne zrake mjeri titrajne procese.

83. — Mjereni izmjenični napon priključi se na jedan par otklonskih ploča; tada polovina dužine svijetle crte odgovara tjemenoj vrijednosti izmjeničnog napona.

84. — Pomoću uzbudne rešetke (Wehneltovog cilindra) koji obuhvata katodu i ima negativni prednapon; što je viši negativni prednapon, to je manja svjetlina svijetle mrlje.

85. — Električki, odnosno magnetski uređaji koji skupljaju katodne zrake (na primjer uzbudna rešetka, cilindar i anoda katodne elektronke).

86. — Oko 10^{-6} mm stupca žive.

87. — Ona ima oblik zubi pile; relaksacioni napon mora rasti proporcionalno vremenu, a zatim mora što brže pasti.

88. — Relaksaciona amplituda mora biti tolika da se katodna zraka može otkloniti skoro do ruba svijetlećeg zastora.

89. — Sl. 203. predstavlja taj spoj.

90. — G r u b a r e g u l a c i j a relaksacione frekvencije vrši se ukapčanjem različitih kondenzatora, a f i n a r e g u l a c i j a mijenjanjem struje nabijanja ovih kondenzatora pomoću potenciometra u zaslonskoj rešetki elektronke za nabijanje.

91. — Oštrinu i svjetlinu svijetle mrlje, relaksacionu frekvenciju i relaksacionu amplitudu, pojačanje i sinhronizaciju.

92. — Oscilografom se mogu mjeriti izmjenični naponi i fazni pomaci, snimati karakteristike elektronki, ispitivati pojačala i prijemnici, snimati rezonantne krivulje, ispitivati odašiljači i snimati modulacioni trapez.

93. — Uz posve nisku relaksacionu frekvenciju dobiva se na svijetlećem zastoru p l o š n a slika, kod koje se pojedini titraji ne mogu raspoznati.

94. — Od raspodijeljenih induktiviteta i kapaciteta, koje imaju strujni krugovi priključeni na mjesto prekida (namotaji, njihovi vlastiti kapaciteti i kapaciteti prema zemlji).

95. — U simetričnim, neprekinutim i nerazgranatim strujnim krugovima (na primjer u mrežnim vodovima).

96. — Preko prijemne antene, uzemnog voda, mrežnih vodova ili drugih metalnih prenosača smetnji (plinskih vodova, vodova za vodu, vodova za grijanje, vodova za zvonce, željeznih konstrukcija itd).

97. — Kod radio-prijemnika se sredstva za zaštitu od smetnji priključuju direktno na mrežnu priključnicu, a kod električkih strojeva i aparata ova se sredstva priključuju na njih same.

98. — Kondenzatori imaju kapacitete od 2 000 pF do 4 μF, visokofrekventne prigušnice imaju induktivitete od 0,1 do 10 mH.

99. — Pomoću spoja za gašenje iskara, odnosno Larsenovog spoja ili također pomoću visokofrekventnog zapornog filtra.

100. — Uglavnom dvostruke i zaštitne kondenzatore, a kod serijskih motora također simetriranje uzbudnog namotaja; za naknadno otklanjanje smetnji kod malih motora upotrebljavaju se također kondenzatori za ugradnju u priključnu vrpcu.

101. — Zato, što ovi aparati proizvode direktno visokofrekventne titraje i većinom rade s prilično jakim visokofrekventnim strujama.

102. — U postocima dani faktor smetnji jednak je stostrukom odnosu napona smetnji u prijemnoj anteni prema korisnom naponu prijemne antene; faktor smetnji treba da bude $\leq 1\%$.

Rješenje zadataka

1. — Zadano je $t = -20^0$C; traži se c. Iz jedn. (1) slijedi: $c = 330{,}7\ \sqrt{1 + 0{,}00367 \cdot (-20)} = 330{,}7\ \sqrt{0{,}9266} = 318{,}3$ m/s.

2. — Zadano je: $f_1 = 10$ Hz, $f_2 = 100$ MHz $= 10^8$ Hz, $t = 16^0$ C, $c = 340$ m/s; traži se λ_1 i λ_2. Iz jedn. (2) dobivamo: $\lambda_1 = c/f_1 = 340/10 = 34$ m i $\lambda_2 = c/f_2 = 340/10^8 = 340 \cdot 10^{-8}$ m $= 3{,}40 \cdot 10^{-6}$ m $= 3{,}40\ \mu$ ($1\ \mu = 10^{-3}$ mm $= 10^{-6}$ m).

3. — Zadano je $p = 0{,}03$ µb, $z = 41{,}5$ dina · s/cm³ (vidi odsjek 7), $t = 20^0$ C; traži se N i v. Prema jedn. (5) je: $N = (p^2/z) \cdot 10^{-7} = (0{,}0009/41{,}5 \cdot 10^{-7} = (9/41{,}5) \cdot 10^{-11} = 0{,}22 \cdot 10^{-11}$ W/cm² $= 2{,}2 \cdot 10^{-12}$ W/cm² ili također $2{,}2 \cdot 10^{-6}$ µW/cm². Nadalje se iz jedn. (4) dobiva: $v = p/z = 0{,}03/41{,}5 = 0{,}000723$ cm/s $= 0{,}723 \cdot 10^{-3}$ cm/s.

4. — Zadano je $L = 25$ fona; traži se p_2/p_1 i N_2/N_1. Iz jedn. (6) slijedi: $25 = 20\ \lg\ (p_2/p_1)$, dakle: $\lg\ (p_2/p_1) = 1{,}25$, odnosno: $p_2/p_1 = 17{,}8$. Nadalje je: $25 = 10\ \lg\ (N_2/N_1)$, dakle: $\lg\ (N_2/N_1) = 2{,}5$ to jest: $N_2/N_1 = 316$. Isti rezultati dobivaju se također iz jedn. (4).

5. — Zadano je $L = 46$ fona, $p_0 = 0{,}0002$ µb, $N_0 = 10^{-16}$ W/cm² (vidi odsjek 13); traži se p_1 i N_1. Iz jedn. (6) se dobiva: $L = 20\ \lg\ (p_1/p_0)$, to jest: $\lg\ (p_1/p_0) = L/20$ ili: $\lg\ p_1 = L/20 + \lg\ p_0 = 46/20 + \lg\ 0{,}0002 = 2{,}3 + 0{,}30 - 4 = 0{,}6 - 2$, dakle: $p_1 = 0{,}040$ µb. Za zvučnu snagu iz jedn. (6) dobivamo: $L = 10\ \lg\ (N_1/N_0)$, odakle je: $\lg\ (N_1/N_0) = L/10$ ili: $\lg\ N_1 = L/10 + \lg\ N_0 = 46/10 + \lg\ 10^{-16} = 4{,}6 - 16 = 0{,}6 - 12$, dakle: $N_1 = 4{,}0 \cdot 10^{-12}$ W/cm². Ovi se rezultati mogu približno očitati i na sl. 3.

6. — Zadano je $U_1 = 0{,}75$ V, $U_2 = 0{,}50$ V; traži se n. Prigušenje se izračuna po jedn. (8): $n = \ln\ (U_2/U_1) = \ln\ (0{,}50/0{,}75) = \ln\ 0{,}667 = \ln\ (667 \cdot 10^{-3}) = \ln\ 667 - 3 \cdot \ln\ 10 = 6{,}503 - 3 \cdot 2{,}303$, dakle: $n = -0{,}406$ Np. Prema odsjeku 17. ovo odgovara prigušenju od $-0{,}406 \cdot 8{,}686$ dB $= -3{,}53$ dB.

7. — Zadano je $n = +0{,}7$ Np, $n' = -1$ Np; traži se $\mathfrak{U}_1$ i $\mathfrak{U}_1$. Budući da je prema odsjeku 18. nulti nivo napona kod $\mathfrak{U}_0 = 0{,}775$ V, iz jedn. (8) dobivamo: $n = \ln(\mathfrak{U}_1/\mathfrak{U}_0)$, dakle: $\ln \mathfrak{U}_1 = n + \ln \mathfrak{U}_0 = 0{,}7 + \ln 0{,}775 = 0{,}7 + \ln(775 \cdot 10^{-3}) = 0{,}7 + \ln 775 - 3 \cdot \ln 10 = 0{,}7 + 6{,}653 - 6{,}909 = 0{,}444$, to jest: $\mathfrak{U}_1 \approx 1{,}6$ V. Isto tako je: $n' = \ln(\mathfrak{U}_1'/\mathfrak{U}_0)$ ili $\ln \mathfrak{U}_1' = -1 + \ln 0{,}775 = -1 + 6{,}653 - 6{,}909 = -1{,}256$. Da uklonimo znak minusa pišemo: $\ln(10 \cdot \mathfrak{U}_1') = \ln \mathfrak{U}_1' + \ln 10 = -1{,}256 + 2{,}303 = 1{,}047$, to jest: $10\,\mathfrak{U}_1' = 2{,}9$ ili: $\mathfrak{U}_1' \approx 0{,}3$ V.

8. — Da se izračuna vrijeme odjeka prema jedn. (9) potrebna je ukupna vrijednost apsorpcije $F \cdot s$. *U prvom slučaju* je: $F \cdot s = 40$ m² otvorenog prozora $= 40 \cdot 1 = 40$. Odavle dobivamo: $T = 0{,}16 \cdot V/(F \cdot s) = 0{,}16 \cdot 30 \cdot 16 \cdot 5/40 = 9{,}6$ s, dakle prevelika vrijednost. *U drugom slučaju* se prema odsjecima 22. i 23. ukupna apsorpcija povisi na: $F \cdot s = 40 \cdot 1 + 32 \cdot 0{,}11 + 700 \cdot 0{,}45 = 358{,}5$ m² otvorenog prozora. Sada je vrijeme odjeka: $T = 0{,}16 \cdot 2400/358{,}5 = 1{,}07$ s.

9. — Prema odsjeku 21. za dvoranu od 4000 m³ najpovoljnije vrijeme odjeka iznosi $T = 1{,}5$ s. Odavle prema jedn. (9) za ukupnu apsorpciju dobivamo: $F \cdot s = 0{,}16 \cdot V/T = 0{,}16 \cdot 4000/1{,}5 = 427$ m² otvorenog prozora. Prema odsjeku 22. apsorpciji koju uzrokuje 860 ljudi odgovara $860 \cdot 0{,}45 = 387$ m² otvorenog prozora. Prema tome dvorana sama zajedno s predmetima koji su u njoj mora imati faktor apsorpcije od $(427 - 387) = 40$ m² otvorenog prozora.

10. — Zadano je $\mathfrak{U}_e = 100$ mV $= 0{,}100$ V, $\mathfrak{N}_a = 8$ W, $R_a = 3{,}5$ kΩ $= 3\,500$ Ω; traži se V_u. Prema dijelu II, jedn. (52) izlazni stupanj mora dobiti izmjenični anodni napon od: $\mathfrak{U}_a = \sqrt{2R_a \cdot \mathfrak{N}_a} = \sqrt{7\,000 \cdot 8} = \sqrt{56\,000} = 236{,}6$ V (tjemena vrijednost). Odavle mora biti $V_u = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_e = 236{,}6/0{,}100 = 2366$.

11. — Zadano je $\mathfrak{R}_1 = 0{,}4$ Ω, $\mathfrak{R}_2 = 200$ Ω, $\ddot{u}_2 = 1 : 20$; traži se $\ddot{u}_1$, $\mathfrak{R}_3$, $\ddot{u}_3$. Iz dijela II, jedn. (40) slijedi: $\ddot{u}_1 = \sqrt{\mathfrak{R}_1/\mathfrak{R}_2} = \sqrt{0{,}4/200} = 1/\sqrt{500} = 1 : 22{,}4$. Nadalje je prema dijelu II, jedn. (39): $\mathfrak{R}_2 = \ddot{u}_2^2 \cdot \mathfrak{R}_3$, dakle: $\mathfrak{R}_3 = \mathfrak{R}_2/\ddot{u}_2^2 = 200/(1 : 20)^2 = 200 \cdot 400 = 80\,000$ Ω $= 80$ kΩ. Za ukupni prijenosni odnos dobivamo: $\ddot{u}_3 = \ddot{u}_1 \cdot \ddot{u}_2 = (1/22{,}4) \cdot (1/20) = 1 : 448$.

12. — Zadano je $C = 120$ pF $= 1{,}20 \cdot 10^{-10}$ F, $f = 60$ Hz, $R_2 = 40$ MΩ; traži se R_C i C_1. Iz dijela I, jedn. (23) slijedi: $\mathfrak{R}_C = 1/(2\pi fC) = 1/(2\pi \cdot 60 \cdot 1{,}20 \cdot 10^{-10}) = 10^8/(1{,}44\pi) = 22 \cdot 10^6$ Ω $= 22$ MΩ. Prema odsjeku 36. vremenska konstanta treba da bude: $T = R_2 \cdot C_1 \leq 0{,}03$ s; odavle dobivamo: $C_1 \leq 0{,}03/R_2 = 0{,}03/22 \approx 0{,}0014$ μF $\approx 1\,400$ pF.

13. — Zadano je $n = 50$ db, $\mathfrak{U}_1 = 6$ μV; traži se $\mathfrak{U}_2$. Iz jedn. (7) slijedi: $50 = 20\, lg(\mathfrak{U}_2/6)$, odakle: $lg(\mathfrak{U}_2/6) = 2{,}5$, to jest: $\mathfrak{U}_2 = 6 \cdot 316 = 1896$ μV. Osjetljivost kondenzatorskog mikrofona mora prema tome iznositi $\approx 1{,}9$ mV/μb.

14. — Prema odsjeku 51. vrijede isti smjerovi strelica kao na sl. 41. za donji kraj kotve. No ovaj puta na gornji kraj kotve djeluje jakost polja $\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{H}$ između pola n i gornjeg kraja kotve s od desna na lijevo, a jakost polja $\mathfrak{H}_0 - \mathfrak{H}$ između pola s i gornjeg kraja kotve s od lijeva na desno. Jakost polja $\mathfrak{H}_0$ ima isti smjer kao na sl. 41.

15. — Zadano je $d = 0{,}8$ m, $c = 340$ m/s; traži se f_t. Iz odsjeka 55. slijedi: $f_t = c/(4\,d) = 340/3{,}2 \approx 106$ Hz.

16. — Zadano je $b = 1$ mm $= 0{,}1$ cm, $h = 5$ mm $= 0{,}5$ cm, $d_2 = 20$ mm $= 2{,}0$ cm, $\mathfrak{B}_L = 8\,000$ G; traži se E_L. Iz širine značnog raspora b dobiva se vanjski promjer raspora: $d_1 = d_2 + 2b = 2{,}2$ cm (vidi odsjek 54); odavle prema jedn. (10) dobivamo: $E_L = 8\,000^2 \cdot 0{,}5\,(2{,}2^2 - 2{,}0^2)/32 = 0{,}84 \cdot 10^6$ erga.

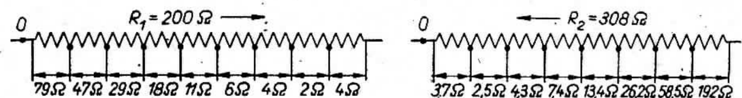
17. — Zadano je $V = 12\,000$ m³, $\eta = 0{,}02$ (vidi odsjek 66), $\alpha = 4$; $T = 1{,}8$ s (vidi odsjek 21); traži se $\mathfrak{N}$. Iz jedn. (11) dobivamo: $\mathfrak{N} = 12\,000 \cdot 4 \cdot 10^{-4}/(1{,}8 \cdot 0{,}02) \approx 133$ W.

18. — Zadano je $\mathfrak{N} = 8 \cdot 25 = 200$ W, $\alpha = 5$; traži se F i n. Iz jedn. (12) izlazi: $F = 20 \cdot \mathfrak{N}/\alpha = 20 \cdot 200/5 = 800$ m². Ova izlazna snaga je prema odsjeku 67. dovoljno velika za $n = 800 \cdot 3 = 2\,400$ slušača.

19. — Zadano je: tonfrekventna snaga pojedinih zvučnika $\mathfrak{N}_L = 8$ W, odnosno $\mathfrak{N}_L' = 4$W, prilagodni otpor pojačala $\mathfrak{R}_a = 200$ Ω; traži se: ukupna tonfrekventna snaga $\mathfrak{N}_V$, prilagodni otpor svakog zvučnika $\mathfrak{R}_L$, ukupni prilagodni otpor $\mathfrak{R}_{Lu}$. Najprije dobijemo: $\mathfrak{N}_V = 8 \cdot 8 + 4 \cdot 4 = 80$ W. Zatim iz dijela II, jedn. (59) za svaki dvostruki ljevkasti zvučnik slijedi: $\mathfrak{R}_L = \mathfrak{N}_V \cdot \mathfrak{R}_a/\mathfrak{N}_L = 80 \cdot 200/8 = 2\,000$ Ω, a za svaki jednostavni ljevkasti zvučnik: $\mathfrak{R}_L' = 80 \cdot 200/4 = 4\,000$ Ω. Paralelni spoj od osam dvostrukih zvučnika daje dakle ukupni otpor od $2\,000/8 = 250$ Ω, a paralelni spoj od četiri pojedinačna zvučnika ukupni otpor od $4\,000/4 = 1\,000$ Ω. Kako su obje grupe zvučnika spojene paralelno, ukupni prilagodni otpor je: $\mathfrak{R}_{Lu} = 250 \cdot 1\,000/(250 + 1\,000) = 250\,000/1\,250 = 200$ Ω; stvarno je dakle $\mathfrak{R}_{Lu} = \mathfrak{R}_a$.

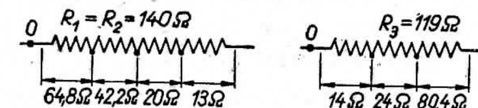
20. — Prilagodni otpor R_L zvučnika mora biti jednak prilagodnom otporu pojačala $R_a = 200$ Ω, dakle: $R_L = 200$ Ω. Proračunavanje pojedi-

nih uzdužnih otpora R_1, odnosno pojedinih poprečnih otpora R_2 slijedi iz jedn. (13), odnosno (14). Prigušenju od 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 Np odgovara odnos struja, odnosno napona: n = 1,00; 1,65; 2,72; 4,48; 7,39; 12,2; 20,1; 33,1; 54,6 (vidi odsjeke 78 i 17). Uvrstimo li ove vrijednosti za n i R_L = 200 Ω u jedn. (14), dobivamo slijedeće otpore: R_1 = 200 (1 — 1) = 0 Ω (početni položaj L-regulatora); 200 (1 — 0,606) ≈ 79 Ω; 200 (1 — 0,368) ≈ 126 Ω; 200 (1 — 0,223) ≈ 155 Ω; 200 (1 — 0,135) ≈ ≈ 173 Ω; 200 (1 — 0,0820) ≈ 184 Ω; 200 (1 — 0,0498) ≈ 190 Ω; 200 (1 — 0,0302) ≈ 194 Ω; 200 (1 — 0,0183) ≈ 196 Ω; ukupna vrijednost od R_1 mora biti jednaka 200 Ω (krajnji položaj L-regulatora). Isto tako se iz jedn. (13) dobivaju slijedeće vrijednosti otpora: $R_2 = \infty$ (početni položaj L-regulatora na praznom kontaktu); 200/0,65 ≈ 308 Ω; 200/1,72 ≈ 116 Ω; 200/3,48 ≈ 57,5 Ω; 200/6,39 ≈ 31,3 Ω; 200/11,2 ≈ 17,9 Ω; 200/19,1 ≈ ≈ 10,5 Ω; 200/32,1 ≈ 6,2 Ω; 200/53,6 ≈ 3,7 Ω i konačno 0 Ω (krajnji položaj regulatora). S ovim vrijednostima dobivamo otpore između pojedinih odvojaka otpora R_1 i R_2. Za prigušenje od 3 Np je R_1 = 190 Ω, a R_2 = 10,5 Ω; prema odsjeku 78. dobiva se ukupni otpor: $R = R_1 + [R_2 \cdot R_L/(R_2 + R_L)]$ = 190 + [10,5 · 200/(10,5 + 200)] = 190 + 9,98 ≈ 200 Ω, to jest zaista izlazni prilagodni otpor pojačala.



21. — Prigušenju od 0; 1; 2; 3 Np odgovara prema rješenju zadatka 20. odnos struja, odnosno napona n = 1,00; 2,72; 7,39; 20,1. Uvrstimo li ove vrijednosti za n po redu i R_L = 140 Ω u jedn. (15) i (16), dobivamo slijedeće otpore: $R_1 = R_2$ = 0 · 140/1 = 0 Ω (početni položaj T-regulatora); 1,72 · 140/3,72 ≈ 64,8 Ω; 6,39 · 140/8,39 ≈ 107 Ω; 19,1 · 140/21,1 ≈ ≈ 127 Ω. Ukupna vrijednost od R_1, odnosno R_2, mora biti jednaka 140 Ω (krajnji položaj T-regulatora). Isto tako se za R_3 dobivaju slijedeće vrijednosti: $R_3 = \infty$ (početni položaj regulatora na praznom kontaktu); 5,44 · 140/6,40 ≈ 119 Ω; 14,78 · 140/53,61 ≈ 38,6 Ω; 40,2 · 140/403,0 ≈

≈ 14,0 Ω i konačno 0 Ω (krajnji položaj T-regulatora). S ovim vrijednostima dobivaju se otpori između odvojaka otpora $R_1 = R_2$ i R_3. Kod

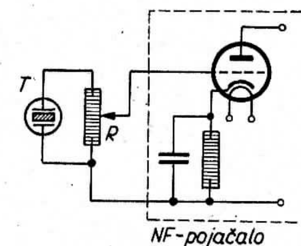


prigušenja od 2 Np je $R_1 = R_2$ = 107 Ω i R_3 = 38,6 Ω; odavle se prema odsjeku 81. dobiva ukupni otpor: $R = R_1 + [R_3 (R_1 + R_L) / (R_3 + R_1 + R_L)]$ = 107 + [38,6 · 247/(38,6 + 247)] = 107 + 33,4 = 140,4 Ω ≈ ≈ 140 Ω, to jest zaista je jednak prilagodnom otporu zvučnika i pojačala.

22. — Zadano je w = 1 500 zavoja, Φ_m = 4 500 M, a = 0,75 mm, f = 50 Hz, x_m = 0,1 mm; traži se U_{ef} i v_m. Iz jedn. (17) dobivamo: U_{ef} = = 4,44 · 1 500 · 50 · 4 500 · 0,1 · 10^{-8}/1,50 = 1,0 V_{ef}. Prema odsjeku 89. je nadalje: $v_m = x_m \cdot 2\pi f$ = 0,1 · 2π · 50 = 31,4 mm/s.

23. — Zadano je f = 0,005 mm² = 5 · 10^{-3} mm² = 5 · 10^{-5} cm², P = = 100 g = 0,100 kg; traži se p. Kako je tlak uvijek jednak sili P podijeljenoj s površinom f, to se dobiva $p = P/f$ = 0,100/(5 · 10^{-5}) = 2 000 kg/cm².

24. — Zadano je f = 1 000 Hz = 10^3 Hz, $\mathfrak{R}_C$ = 500 kΩ = 5 · 10^5 Ω; traži se C. Prema dijelu I, jedn. (23) je: $\mathfrak{R}_C = 1/(2\pi f \cdot C)$. Odavle slijedi: $C = 1/(2\pi f \cdot \mathfrak{R}_C) = 1/(2\pi \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^5) = 10^{-9}/\pi$[F] = $10^{-3}/\pi$[pF] = 318 pF. Priključivanje kristalne zvučnice T na ulaz pojačala vidi se iz slike.



Potenciometar za reguliranje glasnoće mora prema odsjeku 95. imati otpor R, koji je najmanje jednak kapacitivnom unutarnjem otporu zvučnice kod srednjih frekvencija, dakle: $R = \mathfrak{R}_C$ = 500 kΩ.

25. — Zadano je $b = 250$ mm $= 25$ cm, $r_1 = 150$ mm $= 15$ cm, $r_2 =$ $= 50$ mm $= 5$ cm, $r_3 = 100$ mm $= 10$ cm; traži se a, α $\Delta\alpha$. Iz jedn. (18) slijedi: $b^2 = a^2 - r_1 \cdot r_2$, dakle $a = \sqrt{b^2 + r_1 \cdot r_2} = \sqrt{625 + 75} =$ $= \sqrt{700} = 26{,}5$ cm $= 265$ mm. Ručka se dakle mora postaviti tako da se vršak igle postavi $a - b = 265 - 250 = 15$ mm iza središta ploče. Iz jedn. (19) dobivamo: $\cos\beta = (700 + 100 - 625)/(2 \cdot 26{,}5 \cdot 15) = 300/795 =$ $= 0{,}377$, to jest: $\beta \approx 68^0$, odakle je: $\alpha = 90^0 - \beta \approx 22^0$. Za srednji položaj kod $r_3 = 10$ cm dobiva se: $\cos\beta' = (700 + 100 - 625) / (2 \cdot 26{,}5 \cdot 10) =$ $= 175/530 = 0{,}330$, dakle: $\beta' \approx 71^0$, a odavle: $\alpha' = 90^0 - \beta' \approx 19^0$. Odstupanje od ispravnog kuta iznosi prema tome: $\Delta\alpha = \alpha - \alpha' \approx 22^0 -$ $- 19^0 \approx 3^0$; odstupanje je dakle sasvim maleno.

26. — Stroboskopska ploča načini u sekundi $n/60$ okretaja. Budući da tinjalica kod frekvencije izmjenične struje od 50 Hz zasvijetli u sekundi 100 puta, a na ploči ima 73 crne pruge, to kod prividnog stanja mirovanja ploče mora biti: $73 \cdot n/60 = 100$. Iz ovoga slijedi: $n = 100 \cdot$ $\cdot 60/73 = 82{,}2$ okretaja u minuti.

27. — Zadano je $n = 78$ okr./min., $M_d = 6\,500$ gcm, $N = 33$ W; traži se η. Iz jednadžbe (20) dobivamo: $\eta = M_d \cdot n / (N \cdot 97\,300) = 6\,500 \cdot$ $\cdot 78/(33 \cdot 97\,300) \approx 0{,}16$ ili $\approx 16\%$.

28. — Zadano je $f_2 = 250$ Hz, $R_1 = 100$ k$\Omega = 10^5$ Ω, $R_2 = 20$ k$\Omega =$ $= 0{,}2 \cdot 10^5$ Ω; traži se f_1 i C. Iz jedn. (22) slijedi: $f_1 = R_2 \cdot f_2/(R_1 + R_2) =$ $= 20 \cdot 250\ (100 + 20) = 250/6 \approx 42$ Hz. Prema tome iz jedn. (21) dobivamo: $C = 1/[2\pi f_1(R_1 + R_2)] = 1/(2\pi \cdot 42 \cdot 1{,}2 \cdot 10^5) = 10^5/(100{,}8\pi)$ [F] $=$ $= 10^7/317$ [pF] $\approx 31\,550$ pF (u praksi uzimamo okruglo 30 000 pF).

29. — Kako je visina jednog navoja vretena 0,5 mm, pomak kod jednog cijelog okretaja vretena iznosi 0,5 mm, No kod jednog okretaja vretena pomak smije biti samo 0,25 mm, jer na 1 mm širine ploče dolaze 4 brazde, a svaki okretaj vretena odgovara potpunoj brazdi. Broj okretaja vretena mora se dakle smanjiti na p o l o v i n u. Kako stožasti zupčanik na osovini motora ima 20 zubaca, to stožasti zupčanik na vretenu mora imati 40 zubaca.

30. — Gramofonska ploča se reproducira običnom zvučnicom; pri tome se zvučnica kao obično priključi na ulazne priključnice prijemnika ili pojačala. Istodobno se urezna glava uređaja za snimanje preko odgovarajućeg prilagodnog transformatora priključi na izlazne priključnice prijemnika ili pojačala. Potrebna su dakle dva posebna uređaja za snimanje, naime jedan za reprodukciju ploče, a drugi za urezivanje. Tanjuri obaju uređaja moraju se za vrijeme kopiranja okretati sinhrono.

31. — Budući da se radi o odnosu dviju amplituda, mogu se upotrijebiti obje posljednje jedn. (7). Prema tome je: $n = 20 \lg (80/1) = 20 \cdot$ $\cdot 1{,}90 = 38$ dB. Isti rezultat može se očitati također iz sl. 4.

32. — a) Visokofrekventne titraje kratko spajaju kondenzatori C_3, C_4, C_5, C_9, C_{10}. b) Otpor R_2 djeluje kao paralelni otpor titrajnom krugu $L_3 - C_6$ i smanjuje oštrinu rezonancije; dobiva se dakle položitija rezonantna krivulja, to jest bolji prijenos visokih frekvencija bočnog pojasa. c) Da se povisi stupanj modulacije mora se klizač potenciometra R_m na sl. 127. pomaknuti prema gore.

33. Zadano je $U_1 = 10$ V; $U_2 = 10$ μV $= 10^{-5}$ V, $U_2' = 0{,}2$ V, $C_2 =$ $= 1\,000$ pF; traži se C_1, C_1' n. Iz jedn. (23) prebacivanjem dobivamo: $C_1 U_2 + C_2 U_2 = C_1 U_1$, dakle: $C_1 = C_2 \cdot U_2/(U_1 - U_2) = 1\,000 \cdot 10^{-5}/(10 - 10^{-5}) =$ $= 10^{-3} = 0{,}001$ pF, odnosno: $C_1' = C_2 \cdot U_2'/(U_1 - U_2') = 1\,000 \cdot 0{,}2/(10 -$ $- 0{,}2) = 1\,000 \cdot 0{,}2/9{,}8 \approx 20$ pF. Ukupni odnos napona iznosi: $n =$ $= U_2/U_2' = 10^{-5}/0{,}2 = 1 : 20.000$.

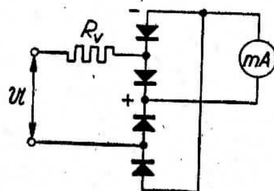
34. — U prvom slučaju izlazni napon iznosi $100 \cdot 10^{-4}/2 = 0{,}0050$ mV $=$ $= 5$ μV. U drugom slučaju se klizač potenciometra R mora postaviti sasvim gore, a preklopnik S na kontakt 1; tada je izlazni napon jednak ulaznom naponu.

35. — Zadano je $R_i = 5 \cdot 500 = 2\,500$ Ω, $n = 500/5 = 100$; traži se R_v. Iz jedn. (24) slijedi: $R_v = (n - 1)\ R_i = (100 - 1)\ 2\,500 = 247\,500$ $\Omega =$ $= 247{,}5$ kΩ.

36. — Zadano je $R_i = 100$ Ω, $n = 500/10 = 50$; traži se R_n. Prema jedn. (25) je: $R_n = R_i/(n - 1) = 100/(50 - 1) = 2{,}04$ Ω.

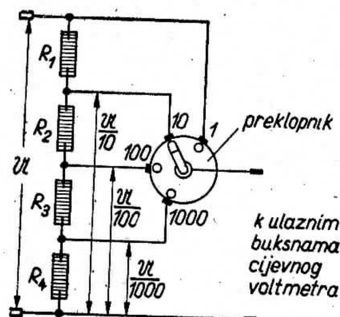
37. — Zadano je $R_i = 500 \cdot 1\,000 = 500\,000$ $\Omega = 500$ kΩ, $R_a =$ $= 100$ kΩ, $U' = 200$ V; traži se U. Paralelnim spajanjem voltmetra i otpora R_a ukupni otpor se smanji na vrijednost $R_a \cdot R_i/(R_a + R_i)$; zato se dobiva m j e r e n i pad napona U' koji je m a n j i od s t v a r n o g napona U (bez paralelno dodanog voltmetra). Po Ohmovom zakonu uz istu ukupnu struju vrijedi: $U/U' = R_a/[R_a \cdot R_i/(R_a + R_i)] = (R_a +$ $+ R_i)/R_i$ ili: $U = (1 + R_a/R_i)\ U' = (1 + 100/500)\ 200 = 600 \cdot 200/500 =$ $= 240$ V. Iz ovoga slijedi da mjerenje napona na visokoomskim otporima treba vršiti samo s visokoomskim voltmterima; inače su izmjerene vrijednosti premalene.

38. — Traženi spoj, koji se dobije direktno iz sl. 137, vidi se na slijedećoj slici:



39. — Zadano je $C = 11$ pF $= 1{,}1 \cdot 10^{-11}$ F, $\mathfrak{U}_{ef}$ — 30 V_{ef}, f = 500 kHz $= 5 \cdot 10^5$ Hz; traži se $\mathfrak{J}_{ef}$. Prema Ohmovom zakonu je: $\mathfrak{J}_{ef} = \mathfrak{U}_{ef}/\mathfrak{R}_C = \mathfrak{U}_{ef} \cdot \omega C = \mathfrak{U}_{ef} \cdot 2\pi f \cdot C = 30 \cdot 2\pi \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-11} = 3{,}3\,\pi \cdot 10^{-4} = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\,A_{ef} = 1{,}0\,mA_{ef}$.

40. — Potenciometar mora imati 4 otpora, koje vidimo na slici. Ako je $\mathfrak{U}_g$ najveći dopustivi izmjenični napon na rešetki, a $\mathfrak{U}$ mjereni napon, tada naponi mjereni na položajima 1, 10, 100 i 1 000 smiju iznositi: $\mathfrak{U} = \mathfrak{U}_g$, 10 $\mathfrak{U}_g$, 100 $\mathfrak{U}_g$ i 1 000 $\mathfrak{U}_g$. Prema tome na otporima potenciometra vladaju slijedeći naponi: $\mathfrak{U}/1\,000$ na R_4, $\mathfrak{U}/100$ na $R_3 + R_4$, $\mathfrak{U}/10$ na $R_2 + R_3 + R_4$ i $\mathfrak{U}$ na $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$. Kako se prema Ohmovom zakonu padovi napona odnose kao otpori, to se dobiva:



$R_4/(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = (\mathfrak{U}/1000)/\mathfrak{U}$ ili: $R_4/10 = 1/1\,000$, dakle: R_4 = 0,01 MΩ = 10 kΩ. Na isti način: $(R_3 + R_4)/10 = (R_3 + 0{,}01)/10 = 1/100$, a odavle: $R_3 = 0{,}09$ MΩ = 90 kΩ. Nadalje je: $(R_2 + R_3 + R_4)/10 = (R_2 + 0{,}09 + 0{,}01)/10 = 1/10$, to jest: $R_2 = 0{,}90$ MΩ = 900 kΩ. I na koncu se dobiva: $R_1 = 10 - (R_2 + R_3 + R_4) = 9$ MΩ.

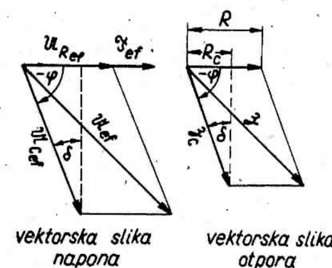
41. — Zadano je $C_g = 10\,000$ pF $= 10^{-8}$ F, $R_g = 5$ MΩ $= 5 \cdot 10^6$ Ω; traži se f: Članak C_g — R_g (vidi sl. 146) djeluje kao djelitelj napona. Na uzbudnu rešetku triode dolazi samo napon sa R_g. Budući da pogreška smije iznositi najviše 1%, to samo 99% mjerenog napona vlada na R_g. Prema Ohmovom zakonu i dijelu I, jedn. (27) dobiva se: $R_g/\sqrt{R_g^2 + 1/(\omega C_g)^2} = 99/100 = 0{,}99$ ili: $R_g^2 = 0{,}98 \cdot [R_g^2 + 1/(\omega^2 C_g^2)]$. Iz ovoga dalje dobivamo: $R_g^2/49 = 1/(\omega^2 C_g^2)$, to jest: $\omega = 7/(R_g \cdot C_g) = 7/(5 \cdot 10^6 \cdot 10^{-8}) = 140$. Prema tome: $f = \omega/2\pi = 140/2\pi \approx 22$ Hz.

42. — Zadano je $\mathfrak{U}_{ef} = 100\,V_{ef}$, $f = 50$ Hz, $\mathfrak{J}_{ef} = 3{,}15\,mA_{ef} = 3{,}15 \cdot 10^{-3}\,A_{ef}$; traži se C. Po Ohmovom zakonu je: $\mathfrak{U}_{ef} = \mathfrak{J}_{ef} \cdot R_C = \mathfrak{J}_{ef} \cdot 1/(\omega C)$. Iz ovoga slijedi: $C = \mathfrak{J}_{ef}(\omega \cdot \mathfrak{U}_{ef}) = 3{,}15 \cdot 10^{-3}/2\pi \cdot 50 \cdot 100) = 3{,}15 \cdot 10^{-7}\pi$ [F] = 0,10 μF.

43. — Zadano je $U = 4$ V, $I = 10$ mA = 0,010 A, $\mathfrak{U}_{ef} = 50\,V_{ef}$, $f = 800$ Hz, $\mathfrak{J}_{ef} = 25\,mA_{ef} = 0{,}025\,A_{ef}$; traži se R, L, $\mathfrak{Z}$, φ. Prema Ohmovom zakonu je: $R = U/I = 4/0{,}010 = 400$ Ω. Iz odsjeka 150. i 151. slijedi: $\mathfrak{Z} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \mathfrak{U}_{ef}/\mathfrak{J}_{ef} = 50/0{,}025 = 2\,000$ Ω, i nadalje: $L = (1/\omega)\sqrt{\mathfrak{Z}^2 - R^2} = \sqrt{2\,000^2 - 400^2}/(2\pi \cdot 800) = \sqrt{3\,840000/5027} = 0{,}39$ H. Konačno iz sl. 149. dobivamo fazni kut: $\cos\varphi = R/\mathfrak{Z} = 400/2\,000 = 0{,}2000$, odakle: $\varphi = 78^0\,28'$.

44. — Zadano je $C_n = 1\,000$ pF, $a = 100$ mm, $b = 150$ mm; traži se C_x. Iz odsjeka 156. se dobiva: $C_x = b \cdot C_n/a = 150 \cdot 1\,000/100 = 1\,500$ pF.

45. — Tražene vektorske slike dobivene su na osnovu sl. 158. i 160, te izvoda u dijelu I, odsjecima 39. do 41.



46. — Zadano je $f = 50$ Hz, $\mathfrak{U}_{ef} = 56\,V_{ef}$, $\mathfrak{U}_{Lef} = 50\,V_{ef}$, $\mathfrak{U}_{Ref} = 12\,V_{ef}$, $\mathfrak{J}_{ef} = 10\,mA_{ef} = 0{,}010\,A_{ef}$; traži se φ, δ, R_L, L. Iz jedn. (28) dobivamo: $\cos\varphi = (56^2 - 12^2 - 50^2)/(2 \cdot 12 \cdot 50) = 492/1\,200 = 0{,}4100$, dakle: $\varphi = 65^0\,48'$. Odavle: $\delta = 90^0 - \varphi = 24^0\,12'$. Prema odsjeku 159, je nadalje: $R_L = \mathfrak{U}_{Lef} \cdot \cos\varphi/\mathfrak{J}_{ef} = 50 \cdot 0{,}41/0{,}010 = 2\,050$ Ω, i konačno: $L = (1/\omega)\sqrt{(\mathfrak{U}_{Lef}/\mathfrak{J}_{ef})^2 \cdot (1 - \cos^2\varphi)} = [1/(2\pi \cdot 50)]\sqrt{(50/0{,}010)^2 \cdot (1 - 0{,}1681)} = 14{,}5$ H.

47. — Zadano je $I_a = 60$ mA $= 0{,}060$ A, $k = 5 \cdot 10^{-5}$; traži se I_g. Iz jedn. (29) slijedi: $I_g = k \cdot I_a = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}060 = 0{,}30 \cdot 10^{-5} = 3{,}0 \cdot 10^{-6}$ A $=$ $= 3{,}0$ μA.

48. — Zadano je $L = 0{,}24$ mH $= 0{,}24 \cdot 10^{-3}$ H, $\lambda_0 = 440$ m; traži se C. Prema dijelu I, jedn. (65) vlastita frekvencija iznosi: $f_0 = 3 \cdot 10^8/\lambda_0 =$ $= 3 \cdot 10^8/440 = 6{,}82 \cdot 10^5$ Hz. Prema tome iz Thomsonove jednadžbe $f_0 =$ $= 1/(2\pi\sqrt{L \cdot C})$ slijedi: $C = 1/(4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L) = 1/(39{,}48 \cdot 46{,}51 \cdot 10^{10} \cdot$ $\cdot\, 0{,}24 \cdot 10^{-3}) = 0{,}00227 \cdot 10^{-7}$ F $= 227$ pF.

49. — Titrajni krug $L_2 - C_2$ se pomoću valomjera uzbudi i ugodi na rezonanciju s titrajnim krugom valomjera $L_1 - C_1$ (slušanje u detektorskom krugu!); namješteni kapacitet kondenzatora C_2 neka u ovom slučaju iznosi C_a [pF]. Sada se zavojnica poznatog induktiviteta L_2 nadomjesti zavojnicom nepoznatog induktiviteta L_x i kondenzator C_2 tako dugo okreće dok opet ne dođe do rezonancije s netaknutim krugom $L_1 - C_1$; ovo neka bude kod kapaciteta C_e [pF] kondenzatora C_2. Tada vrijedi: $1/(2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_a}) = 1/(2\pi\sqrt{L_x \cdot C_e})$ ili: $L_2 \cdot C_a = L_x \cdot C_e$, a odavle: $L_x = C_a \cdot L/C_e$.

50. — Zadano je $F = 1{,}5 \cdot 1{,}5 = 2{,}25$ m², $w = 5$ zavoja, $\mathfrak{J} = 2{,}8$ mA $=$ $= 0{,}0028$ A, $R = 10{,}2$ Ω, $f = 800$ kHz, $\lambda = 3 \cdot 10^5/800 = 375$ m; traži se $\mathfrak{E}$. Iz jedn. (30) dobivamo: $\mathfrak{E} = \mathfrak{J} \cdot R \cdot \lambda/(2\pi \cdot w \cdot F) =$ $= 0{,}0028 \cdot 10{,}2 \cdot 375/(2\pi \cdot 5 \cdot 2{,}25) = 0{,}152$ V/m $= 152$ mV/m.

51. — Zadano je $f = 800$ kHz $= 8 \cdot 10^5$ Hz, $C = 250$ pF $= 2{,}5 \cdot 10^{-10}$ F, $L = 20$ μH $= 2 \cdot 10^{-5}$ H, $R = 50$ Ω; traži se $\mathfrak{Z}$. Budući da se radi o serijskom spoju C, L i R (vidi odsjek 176), to iz dijela I, jedn. (45) slijedi:

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{R^2 + [\omega L - 1/(\omega C)]^2} =$$
$$= \sqrt{50^2 + [2\pi \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-5} - 1/(2\pi \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-10})]^2} =$$
$$= \sqrt{2\,500 + (100{,}5 - 10^5/125{,}7)^2} = \sqrt{2\,500 + (-695)^2} =$$
$$= \sqrt{485525} = 697\ \Omega.$$

52. — Kod ugađanja na jači odašiljač slabiji odašiljač neće smetati. Ako se naprotiv ugodi na slabiji odašiljač, tada će jači odašiljač udaljen za 9 kHz smetati, to jest »probijat će«; primani napon jačeg odašiljača je $0{,}1/0{,}0002 = 500$ puta veći od primanog napona slabijeg odašiljača. Uz selektivnost 1 000 smio bi odnos obaju primanih napona iznositi najviše 100, pa da jači odašiljač ne smeta u većoj mjeri slabiji odašiljač; uz selektivnost 1 000 morao bi odašiljač proizvoditi 1 000 puta toliki primani

napon, koliki proizvodi drugi, pa da se dobije ista jakost glasa. Približno nesmetani prijem obaju odašiljača mogao bi se postići uz minimalnu selektivnost.

53. — Kako je prema odsjeku 89. napon zvučnice razmjeran brzinskoj amplitudi, to se izmjerene vrijednosti napona kod frekvencija ispod 200 Hz moraju pomnožiti s faktorom $19/75 = 3{,}95$ (vidi odsjek 183).

54. — Zadano je f_h, C_1, C_2; traži se L. Po Thomsonovoj jednadžbi vrijedi za frekvenciju f_1: $f_1 = 1/(2\pi\sqrt{L \cdot C_1})$, a za frekvenciju f_2: $f_2 =$ $= 1/(2\pi\sqrt{L \cdot C_2})$. Budući da je $C_1 > C_2$, to je $f_2 > f_1$ i $f_2 - f_1 = f_h$. Stoga dobivamo:

$$f_h = 1/(2\pi\sqrt{L \cdot C_2}) - 1/(2\pi\sqrt{L \cdot C_1}) = (1/\sqrt{C_2} - 1/\sqrt{C_1})/(2\pi\sqrt{L});$$

$$\text{prema tome: } L = \frac{1}{4\pi^2 f_h^2}\left(\frac{1}{\sqrt{C_2}} - \frac{1}{\sqrt{C_1}}\right)^2.$$

55. — Zadano je $C = 0{,}05$ μF $= 5 \cdot 10^{-8}$ F, $f = 20$ Hz, $f' = 20$ kHz $=$ $= 2 \cdot 10^4$ Hz; traži se R, odnosno R'. Iz jedn. (31) slijedi: $R = 1/(2\pi f C) =$ $= 1/(2\pi \cdot 20 \cdot 5 \cdot 10^{-8}) = 10^6/2\pi \approx 159\,200$ Ω ≈ 159 kΩ. $R' = 1/(2\pi f' C) =$ $= 1/(2\pi \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-8}) \approx 159$ Ω. Zbog velikog područja reguliranja otpori R su u praksi građeni kao jedan o drugom neovisni paralelno spojeni promjenljivi otpori.

56. Zadano je $R_i = 7\,500$ Ω, $\mathfrak{U}_{1ef} = 15$ V_{ef}, $\mathfrak{U}_{2ef} = 60$ V_{ef}, $\mathfrak{U}_{3ef} =$ $= 150$ V_{ef}; traži se R_{v1}, R_{v2}, R_{n1}, R_{n2}. Iz odsjeka 189. dobivamo za povišenje mjernog područja na 60 V_{ef}: $R_{v1} = (\mathfrak{U}_{2ef} - \mathfrak{U}_{1ef})\, R_i/\mathfrak{U}_{1ef} =$ $= (60 - 15) \cdot 7\,500/15 = 22\,500$ Ω $= 22{,}5$ kΩ; nadalje: $R_{n1} =$ $= (1 + R_i/R_{v1})\, R_i = (1 + 7\,500/22\,500)\, 7\,500 = 30\,000 \cdot 7\,500/22\,500 =$ $= 10\,000$ Ω $= 10$ kΩ. Isto tako za povišenje mjernog područja na 150 V_{ef} slijedi: $R_{v2} = (\mathfrak{U}_{3ef} - \mathfrak{U}_{1ef})\, R_i/\mathfrak{U}_{1ef} = (150 - 15)\, 7\,500/15 = 67\,500$ Ω $=$ $= 67{,}5$ kΩ i $R_{n2} = (1 + R_i/R_{v2})\, R_i = (1 + 7\,500/67\,500)\, 7\,500 =$ $= 75\,000 \cdot 7\,500/67\,500 = 8\,333$ Ω $= 8{,}333$ kΩ.

57. — Zadano je $\mathfrak{U}_{1ef} = 20$ V_{ef}, $\mathfrak{U}_{2ef} = 1{,}25$ V_{ef}, $\mathfrak{U}_{3ef} = 2{,}5$ V_{ef}, $\mathfrak{U}_{4ef} = 0{,}25$ V_{ef}; traži se k i k'. Iz odsjeka 190. slijedi:

$$k = \sqrt{\mathfrak{U}_{1ef}^2 + \mathfrak{U}_{3ef}^2 + \mathfrak{U}_{4ef}^2}/\mathfrak{U}_{1ef} = \sqrt{1{,}25^2 + 2{,}5^2 + 0{,}25^2}/20 =$$
$$= \sqrt{7{,}8750}/20 = 2{,}806/20 = 0{,}14 = 14\%. \text{ Nadalje je:}$$

$$k' = \sqrt{\mathfrak{U}_{2ef}^2 + \mathfrak{U}_{3ef}^2 + \mathfrak{U}_{4ef}^2}/\sqrt{\mathfrak{U}_{1ef}^2 + \mathfrak{U}_{2ef}^2 + \mathfrak{U}_{3ef}^2 + \mathfrak{U}_{4ef}^2} =$$
$$= 2{,}806/\sqrt{20^2 + 1{,}25^2 + 2{,}5^2 + 0{,}25^2} = 2{,}806/\sqrt{407{,}875} = 2{,}806/20{,}19 =$$

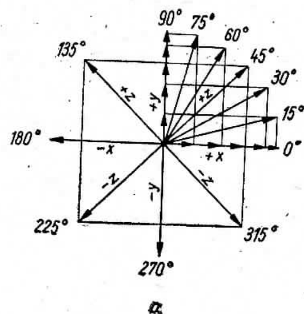
$= 0{,}139 = 13{,}9\%$. k' se dakle od k razlikuje samo za $0{,}1 \cdot 100/14 = 0{,}71\%$!

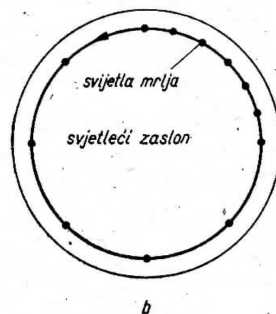
58. — Zadano je $v_1 = 0{,}005$ cm/s, $z = 41{,}5$ dina · s/cm³ (vidi odsjek 7), $\alpha_2 = 9\ \alpha_1$; traži se v_2, N_1, N_2. Prema jedn. (32) dobivamo: $v_2 : v_1 = \sqrt{\alpha_2} : \sqrt{\alpha_1}$, jer su D, ϱ, r, ϑ konstantne vrijednosti. Iz ovoga slijedi: $v_2 = \sqrt{\alpha_2 / \alpha_1} \cdot v_1 = \sqrt{9} \cdot v_1 = 3\ v_1 = 0{,}015$ cm/s. Iz odsjeka 192. dobivamo dakle za jakost zvuka: $N_1 = v_1{}^2 \cdot z \cdot 10^{-7} = 0{,}005^2 \cdot 41{,}5 \cdot 10^{-7} = 1{,}04 \cdot 10^{-10}$ W/cm² i $N_2 = 9\ N_1 = 9{,}34 \cdot 10^{-10}$ W/cm².

59. — Zadano je $d = 5$ mm $= 0{,}5$ cm, $s = 15$ mm $= 1{,}5$ cm, $U = 200$ V, $v = 3 \cdot 10^{10}/12$ cm/s $= 2{,}5 \cdot 10^9$ cm/s; traži se y. Kako jakost električkog polja iznosi $\mathfrak{E} = U/d = 200/0{,}5 = 400$ V/cm, to se prema jedn. (34) za otklon dobiva: $y = 8{,}85 \cdot 10^{14} \cdot \mathfrak{E} \cdot (s/v)^2 = 8{,}85 \cdot 10^{14} \cdot 400\ [1{,}5/(2{,}5 \cdot 10^9)]^2 = 8{,}85 \cdot 10^{14}\ 400 \cdot 10^{-18} \cdot 9/25 = 0{,}127$ cm $= 1{,}27$ mm.

60. — Oba izmjenična napona se na otklonskim pločama sastavljaju prema sl. 192*a*. Pri tome treba paziti na to, da je među naponima fazna razlika od 90°. Budući da naponi imaju iste tjemene vrijednosti, to se uz tjemenu vrijednost 1 za momentalne vrijednosti $y = \sin\alpha$, odnosno $x = \sin(90^0 + \alpha)$ dobivaju slijedeće vrijednosti:

$\alpha = 0^0$	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$y = 0$	0,26	0,50	0,71	0,87	0,97	1
$x = 1$	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0





Slika k rješenju zadatka 60.
a) Konstrukcija rezultantnog otklona z,
b) Gibanje svijetle mrlje na zastoru.

Pojedine otklonske vrijednosti y i x po zakonu paralelograma daju rezultirajuću vrijednost z; na taj način dobivamo pojedine tačke krivulje za jednu četvrtinu periode. Krivulja je *četvrtina kruga*. Provedemo li isti postupak za ostale tri periode, dobivamo također četvrtine kruga. Iz toga slijedi da svijetla mrlja na zastoru opisuje *krug!*

61. — Kako se prema odsjeku 208. otklonska osjetljivost naznačuje u milimetrima po voltu, osjetljivost iznosi 12 mm/25 V = 0,48 mm/V. Ako otklon svijetle mrlje treba da bude 18 mm, potrebni otklonski napon iznosi 18/0,48 = 37,5 V.

62. — Prema odsjeku 211. mora relaksaciona frekvencija iznositi $f_k = 50/10 = 5$ kHz. Uz relaksacionu frekvenciju od 25 kHz vide se na zastoru 50/25 = 2 cijela titraja.

63. — Zadano je $f_k = 600$ Hz, $R = 0{,}1$ MΩ $= 10^5$ Ω, $U = 220$ V, $U_Z = 150$ V, $U_L = 145$ V; traži se $\mathfrak{U}_k$ i C. Prema odsjeku 212. je: $\mathfrak{U}_k = U_Z - U_L = 150 - 145 = 5$ V. Nadalje iz jedn. (35) za slučaj da je je $t_e \ll t_a$ slijedi (vidi odsjek 212): $f_k = 1/\{R \cdot C \cdot \ln[(U - U_L)/(U - U_Z)]\}$, a odavle: $C = 1/\{R \cdot f_k \cdot \ln[(U - U_L)/(U - U_Z)]\} = 1/\{10^5 \cdot 600 \cdot \ln[(220 - 145)/(220 - 150)]\} = 1/(6 \cdot 10^7 \cdot \ln 1{,}07)$. Prirodni logaritam ln 1,07 izračuna se pomoću tablica. Pri tome je potrebno slijedeće pretvaranje: $\ln 1{,}07 = \ln(107/100) = \ln 107 - \ln 100 = 4{,}673 - 4{,}605 = 0{,}068$. Prema tome dobivamo: $1/(6 \cdot 10^7 \cdot 0{,}068) = 2{,}45 \cdot 10^{-7}$ F $= 0{,}245 \cdot 10^{-6}$ F $\approx 0{,}25$ μF.

64. — Kod istraživanja međusobnog odnosa između dvaju izmjeničnih napona dovode se oni na otklonske ploče katodne elektronke, dakle na priključnice $P_x - E_2$, odnosno $P_y - E_2$. Da se izbjegnu smetnje prebaci se preklopnik S na kontakt za iskapčanje relaksacione frekvencije, tako da ne mogu nastati relaksacioni titraji. Osim toga se ulaz pojačala uzemlji pomoću kratkog spajanja para priključnica $VE - E_4$; time se isključuju nepoželjni titraji. Na koncu se isključi sinhronizacija kratkim spajanjem priključnica $S_x - E_3$. Spojevi priključnica naznačeni na sl. 226. ovdje, dakako, ne dolaze u obzir.

65. — Zadano je $P_5 = 1$ MΩ, $P_6 = 0{,}1$ MΩ, $U_a = 600$ V; traži se U_g. Iz Ohmovog zakona slijedi odnos: $U_g/U_a = P_6/(P_5 + P_6)$; odavle je: $U_g = P_6 \cdot U_a/(P_5 + P_6) = 0{,}1 \cdot 600/(1 + 0{,}1) = 60/1{,}1 = 54{,}5$ V. Napon uzbudne rešetke može se dakle regulirati u području od 0 do —54,5 V.

66. — Kod povišenja napona na pločama za v e r t i k a l n o otklanjanje nagibni kut pravca prema pozitivnoj X-osi se p o v e ć a, dok se naprotiv kod povećanja napona na pločama za h o r i z o n t a l n o otklanjanje s m a n j i.

67. — Dio okomitog pravca u elipsi ima dužinu 9 mm, a dužina cijelog okomitog pravca je 23,5 mm. Prema odsjeku 222. je $\sin\varphi \approx$ $\approx 9/23{,}5 \approx 0{,}383$, odakle je $\varphi \approx 22{,}5^0$.

68. — Na crtežu izmjerimo $A_1 = 40$ mm, $A_2 = 10$ mm. Iz jedn. (37) se za stupanj modulacije dobiva: $m = (A_1 - A_2)\ 100/(A_1 + A_2) = 30 \cdot$ $\cdot\ 100/50 = 60\%$.

69. — Krčanje dolazi od loših kontakta na vodovima (na primjer loša zalemljenja!) ili u otpornicima, zavojnicama, transformatorima, kondenzatorima, elektronkama itd. Brujanje nastaje uslijed nedostatnog filtriranja pogonskih istosmjernih napona i struja, ili ako eliminator brujanja u žarnom krugu elektronke nije ispravno namješten.

70. — Zadano je $\mathfrak{E} = 0{,}2$ mV/m $h_w = 50$ cm $= 0{,}50$ m; traži se $\mathfrak{U}_s$. Prema odsjeku 234. smije napon smetnji $\mathfrak{U}_s$ iznositi najviše 1/100 korisnog napona $\mathfrak{U}_e$. Prema tome je: $\mathfrak{U}_s = \mathfrak{U}_e/100 = \mathfrak{E} \cdot h_w/100 =$ $= 0{,}2 \cdot 0{,}50/100 = 0{,}001$ mV $= 1\mu$V.

71. — Zadano je $\mathfrak{J}_{ef} = 0{,}4$ mA$_{ef}$ $= 0{,}4 \cdot 10^{-3}$ A$_{ef}$, $\mathfrak{U}_{ef} = 110$ V$_{ef}$, $f = 50$ Hz; traži se C. Po Ohmovom zakonu je kapacitivni otpor: $\mathfrak{R}_C = 1/(\omega C) = \mathfrak{U}_{ef}/\mathfrak{J}_{ef}$. Iz ovoga slijedi: $C = \mathfrak{J}_{ef}/(\omega \cdot \mathfrak{U}_{ef}) =$ $= 0{,}4 \cdot 10^{-3}/(2\pi \cdot 50 \cdot 110) = 0{,}4 \cdot 10^{-3}/(0{,}346\ .\ 10^5) \approx 1{,}16 \cdot 10^{-8}$ F $=$ $= 0{,}0116\ \mu$F $= 11\,600$ pF. U praksi se uzima kapacitet od 0,01 μF $=$ $= 10\,000$ pF.

72. — Budući da nije predviđen posebni zaštitni kondenzator i da su oba kapaciteta C spojena paralelno kućištu motora, ne smije prema odsjeku 237. pojedini kapacitet biti veći od 2 500 pF; u ovom slučaju ukupni kapacitet iznosi $2 \cdot 2\,500 = 5\,000$ pF.

73. — Zadano je $N = 4$ KS $= 4 \cdot 736$ W, $U = 440$ V; traži se I. Iz $N = U \cdot I$ slijedi: $I = N/U = 4 \cdot 736/440 = 6{,}69$ A.

74. — Zadano je $K_s = 1\%$, $K_p = 15\%$, $h_w = 1{,}5$ m, $\mathfrak{U}_{k0} = 10$ mV, $\mathfrak{U}_{km} = 50\ \mu$V $= 0{,}050$ mV; traži se $\mathfrak{E}$ i K_r. Iz jedn. (42) dobivamo: $\mathfrak{E} =$ $= (K_p/K_s) \cdot (\mathfrak{U}_{km}/h_w) = (15/1) \cdot (0{,}050/1{,}5) = 0{,}50$ mV/m. Sa $\mathfrak{U}_e =$ $= \mathfrak{E} \cdot h_w = 0{,}50 \cdot 1{,}5 = 0{,}75$ mV dobiva se iz jedn. (41) za faktor preostalih smetnji: $K_r = 100 \cdot (K_s/K_p) \cdot (\mathfrak{U}_e/\mathfrak{U}_{k0}) = 100\ (1/15) \cdot (0{,}75/10) =$ $= 0{,}5\%$.

DODATAK
uz III dio

Ing. Momir Vujnović
asistent Elektrotehničkog fakulteta
u Zagrebu

Slušna akustika

Glasnoća

1. — Glasnoća se fizikalno definira pomoću jednadžbe (6) u odsjeku 12 (str. 18). Ovako određena glasnoća vrijedi samo za ton od 1 000 Hz, dok se glasnoće ostalih tonova čujnog područja dobivaju empirijski, usporedbom s glasnoćom tona od 1 000 Hz (tako su snimljene dobro poznate Fletcher-Munsonove izofone krivulje). Pri tom su vrijednosti zvučnog tlaka p_1 i zvučne snage N_1 po iznosu jednake onima na pragu čujnosti uha. Međutim, gornja jednadžba ipak vrijedi ne samo za navedenu frekvenciju nego približno i za područje gdje je tok izofonih krivulja uglavnom paralelan, a to je oko srednjih frekvencija i pri glasnoćama između 60 i 100 fona.

2. — Sumiranje glasnoća više zvukova iste frekvencije ne može se vršiti direktno na osnovu jednostavnog zbrajanja glasnoća pojedinih zvukova izraženih u fonima, nego se postupak treba temeljiti na zbrajanju zvučnih energija. Prema navedenoj jednadžbi (6), koja važi pri tom postupku, zvučna snaga dvaju zvukova jednakih glasnoća iznosi $2N_2$, pa je ukupna glasnoća:

$$L = 10 \lg \frac{2N_2}{N_1} = 10 \lg \frac{N_2}{N_1} + 10 \lg 2 = 10 \lg \frac{N_2}{N_1} + 3 \text{ [fona]}$$

Ukupna glasnoća je, znači, povećana za 3 fona prema glasnoći pojedinog zvuka.

Primjer 1: Ukupna glasnoća dvaju jednakih zvukova, od kojih svaki ima glasnoću npr. 70 fona, iznosi prema gornjem 73 fona, a ne 140 fona, kako bi se moglo nasumce zaključiti.

Primjer 2: Neka se glasnoće dvaju zvukova iste frekvencije razlikuju za 3 fona. Iz toga slijedi da im se zvučne snage N_2 i N_1 odnose kao 2:1 ili drugačije pisano: N_2:0,5 N_2 (što proizlazi iz 10 lg $N_2/N_1 = 3$ fona $\rightarrow N_2/N_1 = 2$).

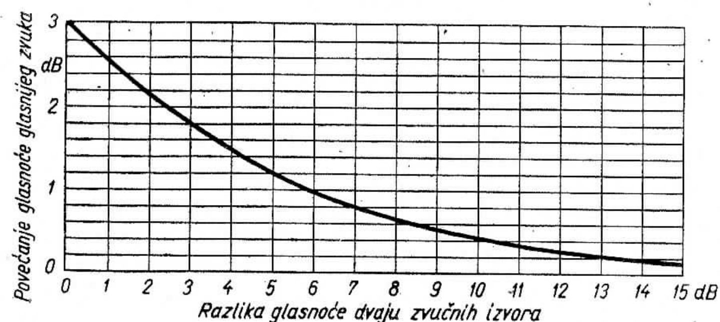
Ukupna je glasnoća tada:

$$L = 10 \lg \frac{N_2 + 0{,}5\, N_2}{N_1} = 10 \lg \frac{1{,}5 N_2}{N_1} = 10 \lg \frac{N_2}{N_1} + 10 \lg 1{,}5 =$$

$$= 10 \lg \frac{N_2}{N_1} + 1{,}76 \text{ [fona]}.$$

Znači da se glasnoća povećala za 1,76 fona s obzirom na glasnoću glasnijeg zvuka zvučne snage N_2.

3. — Na temelju računa u 2. primjeru izveden je dijagram na slici 1, iz kojeg se vidi za koliko se fona poveća glasnoća kad istovremeno djeluju dva zvuka iste frekvencije. U slučaju da postoji neka razlika u glasnoćama sudjelujućih zvukova, povećanje glasnoće je to manje, što je veća ta razlika. Povećanje glasnoće najveće je kad dva



Sl. 1. Povećanje glasnoće pri sudjelovanju dvaju zvučnih izvora

zvuka imaju iste glasnoće (tada povećanje iznosi 3 fona). Kako se, nadalje, iz slike vidi razlika u nivoima pojedinih zvukova od oko 2,5 fona daje povećanje glasnoće glasnijeg zvuka za 2 fona, razlika od 6 fona daje povećanje za 1 fon itd. Veća razlika od 10 fona praktički ne povisuje glasnoću.

4. — Do sada je opisan postupak pri sudjelovanju dvaju zvukova. Isto vrijedi i za veći broj zvučnih izvora iste frekvencije. Npr. 4 zvuka istih glasnoća daju povećanje glasnoće od 6 fona [$L = 10 \lg (4N_2/N_1) = 10 \lg (N_2/N_1) + 10 \lg 4 = 10 \lg (N_2/N_1) + 6$ fona], 8 zvukova — povećanje od 9 fona, 10 zvukova — povećanje od 10 fona itd.

Nešto je kompliciranije odrediti ukupnu glasnoću više zvučnih izvora, od kojih svaki ima drugačiju glasnoću. Postupak se izvodi sukcesivno, određujući najprije zajedničku glasnoću dvaju zvučnih izvora i dodavajući na gornji način glasnoću svakog daljnjeg sudjelujućeg zvučnog izvora. To će objasniti slijedeći primjer:

Primjer 3: Tri izvora zvuka iste frekvencije imaju glasnoće 80, 77, 73 fona. Ukupna glasnoća prvih dvaju izvora prema dijagramu na slici 1, iznosi 80 + 1,75 = 81,75 fona. Ova pak glasnoća s glasnoćom trećeg izvora od 73 fona daje daljnje povećanje glasnoće od 0,55 fona. Prema tome je ukupna glasnoća 81,75 + 0,55 = 82,3 fona.

Tablica I

Ovisnost između odnosa snaga i decibela

dB	$\frac{N_1}{N_2}$	dB	$\frac{N_1}{N_2}$
0,5	1,12	5,5	3,55
1,0	1,26	6,0	3,98
1,5	1,41	6,5	4,47
2,0	1,59	7,0	5,01
2,5	1,78	7,5	5,63
3,0	2	8,0	6,31
3,5	2,24	8,5	7,08
4,0	2,51	9,0	7,94
4,5	2,82	9,5	8,91
5,0	3,16	10	10,00

Računski se do istog rezultata može doći i ovako: Snage triju zvučnih izvora od 80, 77 i 73 fona odnose se kao 1 : 1/2 : 1/5 = 1 : 0,5 : 0,2 (tablica I). Prema tome je ukupna glasnoća:

$$L = 10 \lg \frac{N_2 + 0{,}5N_2 + 0{,}2N_2}{N_1} = 10 \lg \frac{N_2}{N_1} + 10 \lg 1{,}7 =$$

$$= 10 \lg \frac{N_2}{N_1} + 2{,}3 \text{ [fona]}.$$

tj. glasnoća je za 2,3 fona viša od glasnoće najjačeg izvora.

5. — Sva gornja razmatranja o povišenju glasnoće važe uz pretpostavku da su razni izvori zvuka iste frekvencije, i da pri tom nema maskiranja. Pri sudjelovanju zvukova raznih frekvencija povećanje glasnoće može se kretati u raznim i širim granicama, i ono kod dva zvuka jednake glasnoće može iznositi čak do 10 fona.

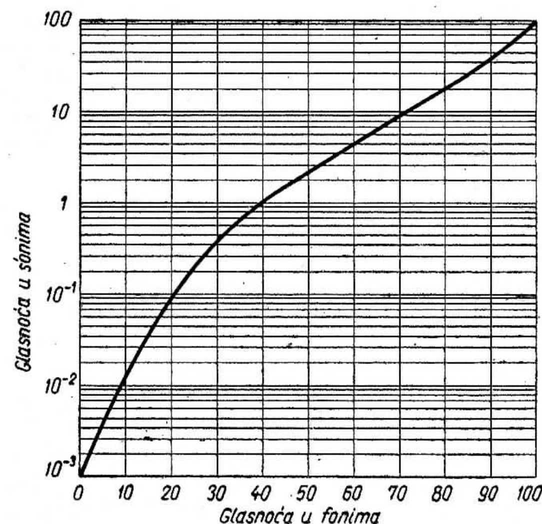
Jedinica za glasnoću son

6. — Promatranjem Fletcher-Munsonovih ekvifonskih krivulja dobiva se informacija ovisnosti glasnoće (jačine glasa) o dva parametra: frekvenciji i fizikalnom intenzitetu zvuka. Međutim, sva nastojanja da se iz određenih ovisnosti ustanovi za koliki broj fona treba promijeniti glasnoću, da se pri tome ustanovi kako je neki zvuk za određeni broj puta glasniji ili tiši nakon provedene promjene, ne daju rezultata. Ako se npr. glasnoća povisi za 10 fona, to još ne daje nikakav podatak o tome da li je zvuk dva ili više puta subjektivno glasniji. Štaviše, promjena glasnoće za isti broj fona u području većih glasnoća daje manju subjektivnu promjenu glasnoće nego u području manjih glasnoća.

U svrhu određivanja subjektivne promjene glasnoće ovisno od glasnoće izražene fizikalnom jedinicom fonom, vršila su se odgovarajuća

ispitivanja. Pri tom je uvedena i nova jedinica za glasnoću — son. Ako je neki zvuk glasnoće 1 son pojačan tako, da se subjektivno ocijeni dva puta glasnijim, onda ovako pojačani zvuk ima glasnoću 2 sona, dva puta glasniji zvuk od ovog posljednjeg ima glasnoću 4 sona itd. (uvijek dvostruko glasniji zvuk ima dva puta više sona od prethodnog zvuka).

Pri definiranju glasnoće izražene sonima, u odnosu na glasnoću izraženu fonima, dogovorno je uzeto da ton od 1 000 Hz glasnoće 40 fona ima subjektivnu glasnoću od 1 sona. Za ostali dio fonske skale empirijski su kod te frekvencije određene ostale vrijednosti skale sona prema dijagramu na slici 2. Iz dijagrama se dobro vidi, da se u području praga čujnosti povećanje glasnoće za 10 fona subjektivno doživljava kao deseterostruko povećanje glasnoće, dok u području iznad 40 fona to povećanje izgleda tek dvostruko.



Sl. 2. Ovisnost glasnoće u sonima o glasnoći u fonima za ton od 1 000 Hz

Za svaku frekvenciju treba izvesti slične dijagrame, čiji je tok više ili manje sličan onom na slici 2.

Računski se za tehničke potrebe može dovoljno tačno odrediti glasnoća u sonima iz vrijednosti glasnoće u fonima tek iznad 40 fona prema jednadžbi:

$$L_s = 2^{0,1\,(L-40)}\ [\text{sona}],$$ gdje je

L — broj fona

L_s — tzv. ISO-soni, jer je gornju jednadžbu predložila Međunarodna organizacija za standarde (International Standardisation Organisation).

Primjer 4: Zvuk glasnoće 10 milisona (10 fona) glasniji je od zvuka glasnoće 1 milison (0 fona) 10/1 = 10 puta; zvuk od 100 milisona

(20 fona) tiši je od zvuka glasnoće 400 milisona (30 fona) 400/100 = = 4 puta.

Pitanja

1. Na osnovu čega se vrši sumiranje glasnoća više zvučnih izvora iste frekvencije?
2. Kolika je ukupna glasnoća dvaju zvučnih izvora iste frekvencije, od kojih svaki ima glasnoću 50 fona?
3. Koliko je povećanje glasnoće zvučnog izvora do 80 fona, ako se pridoda i zvučni izvor tiši za 6 fona (frekvencije oba izvora su iste)?
4. Što je s povećanjem glasnoće kad sudjeluju dva zvuka različitih frekvencija?
5. Kako je definirana jedinica glasnoće son?
6. Kakve odnose glasnoća karakterizira son?
7. Koliko puta je tiši zvuk glasnoće 2 sona u odnosu na zvuk glasnoće 16 gona?

Razumljivost i kvaliteta elektroakustičkog prenosa

Općenito

7. — Govoreći o razumljivosti elektroakustičkog prenosa, obično se misli na prenos ljudskog govora preko nekog dojavnog sistema. Pri tom je bitni zahtjev, koji se postavlja na sâm sistem, da je govorna informacija razumljiva. Za postizavanje razumljivosti nije nužno da se informacija i posve vjerno prenese. Jasno je da se zbog toga ne postavljaju prestrogi tehnički zahtjevi na sistem prenosa, što pogoduje i manjoj cijeni koštanja.

Međutim, pri prenosu muzike ne može se više govoriti o razumljivosti prenosa. Ovdje nije dovoljno da preneseni zvuk bude »razumljiv«, tj. da se npr. prepozna prema njegovoj visini i jačini, nego tu moraju biti sadržane još i njegove druge karakteristike kao boja (da se ustanovi i instrument kojim je proizveden), vrijeme trajanja zvuka i sl. U tom se slučaju govori o vjernom, odnosno kvalitetnom prenosu, i na prenosni se sistem postavlja poseban niz naročitih tehničkih zahtjeva.

8. — Osvrnimo se najprije na razumljivost prenosa govornih informacija. Ljudski je glas akustička pojava, i kao takva ima svoje odgovarajuće fizikalne karakteristike: intenzitet, frekvenciju (odnosno frekventni spektar), boju i sl. U procesu prenosa glasova moraju bitne karakteristike ostati sačuvane i neizmijenjene, ako se na izlazu prenosnog lanca želi dobiti vjerna slika originala s ulaza u sistem. Ovaj zahtjev često postavlja vrlo oštre tehničke uvjete na prenosni lanac. Stoga se radi ublažavanja strogih traženja može najprije ispitati u kolikoj se mjeri neka informacija smije izmijeniti, a da bi pri prenosu još ostala razumljiva, da ne bi dobila neki drugi smisao.

Razumljivost glasova, slogova i riječi jest subjektivna osobina, no ona se kao jedna od rijetkih dade objektivno mjeriti. Za razumljivost prenosa nisu odlučne samo fizičke karakteristike glasova nego i niz drugih faktora kao npr. čitanje s usana, psihomnemoničko slušanje i dr. Osim toga, bolje se razumiju višesložne riječi nego one s manje slogova, a pogotovo one jednosložne, bez značenja (logatomi).

9. — U svrhu ispitivanja razumljivosti govora vrši se na ulazu u prenosni sistem izgovaranje liste ispitnih riječi u obliku:

— jednosložnih ili dvosložnih riječi,
— logatoma (jednosložnih riječi bez smisla),
— rečenica.

Na izlazu iz prenosnog sistema slušaju se te iste skupine riječi i ustanovljuje broj pravilno primljenih riječi. Razumljivost, izražena u postocima, definira se odnosom broja pravilno primljenih riječi prema broju izgovorenih riječi.

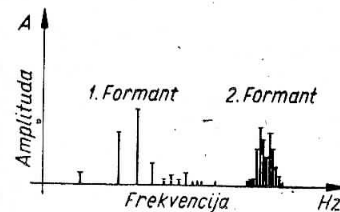
U medicini se, pri ispitivanju nagluhosti, za gornja ispitivanja upotrebljavaju jednosložne i dvosložne riječi sa smislom, kao i cijele rečenice. To je ondje i razumljivo, jer se nastoji ustanoviti koliko je čovjek izvjesne nagluhosti sposoban da razumije govor, uzevši u obzir čak i pomoć subjektivnih faktora pri međusobnom komuniciranju, a ne samo oslanjajući se na vjeran prenos fizikalnih karakteristika glasova.

U tehnici se pak radi objektivne procjene kvalitete nekog prenosnog sistema (ozvučavanje, telefon i sl.) vrši ispitivanje pomoću logatoma. Riječi moraju izgovarati osobe s jasnom artikulacijom, a slušati ih one s dobro izdiferenciranim sluhom, kako bi uzrok svakoj nerazumljivo primljenoj riječi bila jedino slabija kvaliteta prenosnih uređaja. Postotak razumljivosti veći od 70% smatra se dovoljnim za potpuno razumijevanje neke rečenice sa smislom.

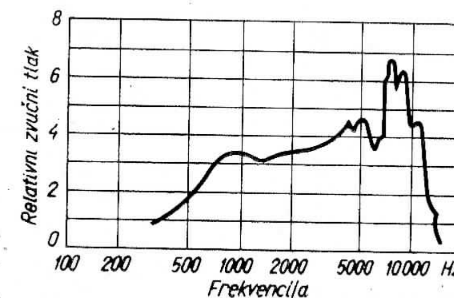
Karakteristike govornog i muzičkog zvuka

10. — Da se objasni pojava nerazumljivosti u prenosu govora kao i gubitak vjernosti pri reprodukciji muzike, nužno je razmotriti bitne karakteristike govornog i muzičkog zvuka. Ljudski je glas kompleksne prirode. Sastoji se od osnovnog i viših harmoničkih i neharmoničkih titraja (nadvalova). Dakle, karakteriziran je izvjesnim frekventnim spektrom, čija mu širina određuje boju. Frekventno područje osnovnih titraja ljudskog govora proteže se od 80—700 Hz (muškarac 80—400 Hz i žena 120—700 Hz), dok nadvalovi dopiru i do 12 000 Hz. Vokali imaju diskontinuirano raspodijeljen spektar frekvencija (tzv. linijski spektar). Kod toga se ističu naročito izražena područja nadvalova, tzv. područja formanata, koja određuju svojstva vokala. Pri prenosu je naročito važno da se sačuvaju baš ova karakteristična područja, kako bi se sačuvala i jasnoća glasa.

Konzonanti pak imaju kontinuirani spektar, tj. sudjelujuće frekvencije raznih amplituda gusto su raspoređene unutar izvjesnog frekventnog područja. Primjeri spektara vokala i konzonanta vide se na slikama 3. i 4.

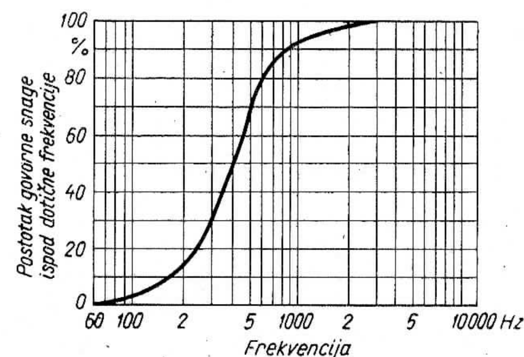


Sl. 3. *Spektar vokala »I«*



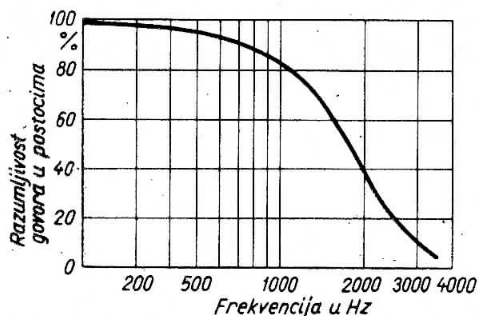
Sl. 4. *Spektar konzonanta »S«*

Govorna je snaga sadržana uglavnom u vokalima (u nižem frekventnom području), dok konzonanti prenose tek manji dio snage. Iz dijagrama na sl. 5. vidi se kvantitativna slika te činjenice. Gotovo čitavu govornu snagu sadrže frekvencije ispod 3 000 Hz (100%).



Sl. 5. *Zvučna snaga sadržana u spektru govora ispod neke frekvencije*

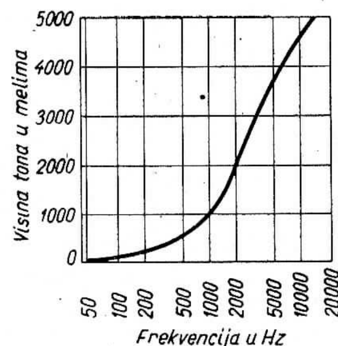
S druge je pak strane u konzonantima (u višem frekventnom području) sadržana govorna razumljivost (sl. 6). Kako se iz sl. 6. vidi, dovoljna razumljivost od 70% postiže se prenosom svih frekvencija iznad kojih 1 400 Hz.



Sl. 6. Razumljivost sadržana u spektru govora iznad neke frekvencije

11. — Zvukovi proizvedeni muzičkim instrumentima također su sastavljeni od osnovnog tona, koji određuje visinu, i nadvalova, čiji broj i jačina određuju boju tona.

V i s i n a z v u k a. Opseg frekvencija osnovnih tonova proteže se od 20—4 000 Hz, dok nadvalovi dosižu i do 15 000 Hz. Suvremenim ispitivanjima ustanovilo se danas da je visina tona samo subjektivna karakteristika muzičkog zvuka (treba razlikovati visinu tona od frekvencije). Ona je, naime, ovisna od fizikalnih karakteristika zvuka:

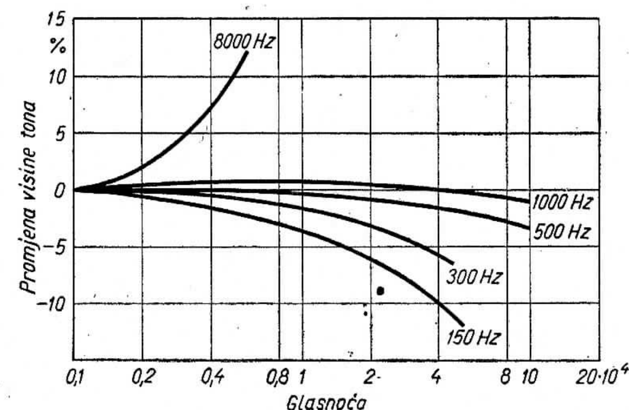


Sl. 7. Ovisnost visine tona o frekvenciji pri glasnoći od 40 fona

frekvencije, intenziteta i valnog oblika. Ovisnost osjećaja visine tona od frekvencije pri glasnoći od 40 fona prikazuje sl. 7. U svrhu kvantitativnog označavanja visine tona uvedena je i nova jedinica — mel (od riječi melodija). Dogovorno je prihvaćeno da ton glasnoće 40 fona i frek-

vencije 1 000 Hz ima 1 000 mela, a ostale vrijednosti čujnog područja određene su pokusima, na čemu se temelji gornji dijagram.

Također se promjenom glasnoće nekog tona konstantne frekvencije dobiva utisak promijenjene visine tona (dijagrami na sl. 8). Kod niskih frekvencija povećanje glasnoće izaziva osjećaj sve dubljeg tona, kod srednjih (oko 1 000 Hz) promjene gotovo i nema, a kod viših nastaje osjećaj povišenja tona.



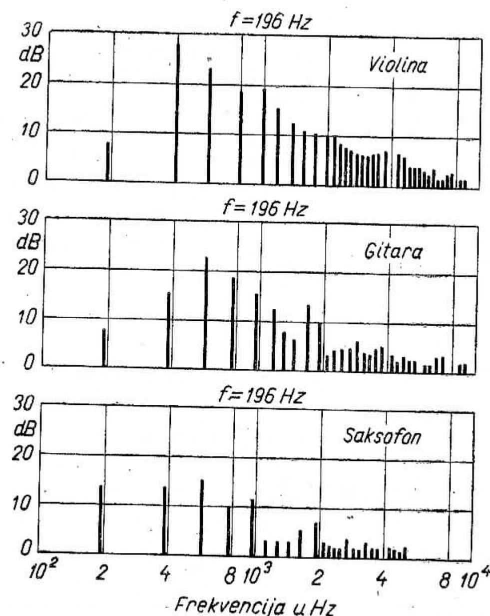
Sl. 8. Ovisnost promjene visine tona o glasnoći i o frekvenciji

Pojava ovisnosti visine tona od frekvencije i glasnoće izrazita je samo kod čistih sinusoidalnih tonova, dok je kod složenog zvuka manje zamjetljiva. Prema tome je visina tona ovisna i od valnog oblika.

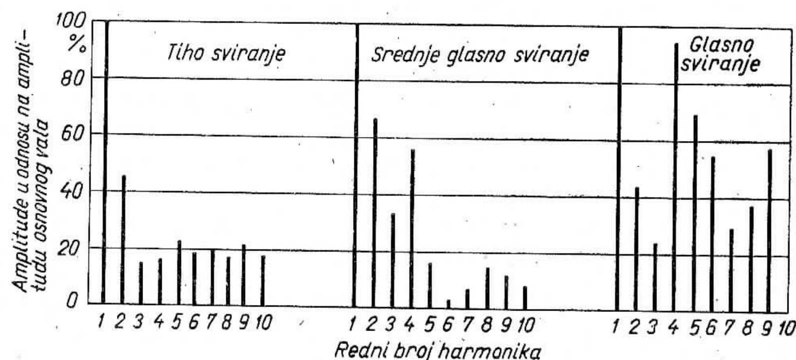
B o j a z v u k a. Neki ton sviran na raznim instrumentima ima različitu boju zbog različitog sadržaja nadvalova. Na sl. 9. prikazani su akustički spektri jednog tona, sviranog na raznim instrumentima. Opaža se razlika u broju i intenzitetu pojedinih komponenata. Osim toga, boja ovisi i od glasnoće sviranog tona. Na sl. 10. dani su akustički spektri istog tona sviranog na raznim glasnoćama.

G l a s n o ć a. Glasnoća je također jedna od karakteristika zvuka. Pobliže o njoj, kao i o jedinicama s kojima se mjeri, objašnjeno je u odsjecima 11—15, (dio III, str. 17—21) i u odsjecima 1—6 ovog dodatka.

V r i j e m e t r a j a n j a. Jačina zvuka obično ne postigne pri nastajanju momentano svoju maksimalnu vrijednost, nego je potrebno

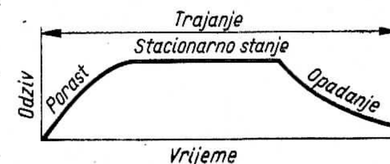


Sl. 9. Isti ton sviran na raznim muzičkim instrumentima



Sl. 10. Isti ton sviran raznim glasnoćama

izvjesno vrijeme nastajanja (početni tranzijent). Isto tako pri utihnuću postoji vrijeme prekida (završni tranzijent — sl. 11). Čim je vrijeme uspostavljanja i nestajanja zvuka kraće, postoji veći broj nadvalova nego u obratnom slučaju.



Sl. 11. Proces od nastajanja do utihnuća zvuka

V i b r a t o i p o r t a m e n t o. Vibrato nastaje kad ton treperi bilo po amplitudi bilo po frekvenciji (izvodi se amplitudna ili frekventna modulacija tona), dok je portamento kontinuirani prelaz s jedne frekvencije na drugu.

Vrste izobličenja u prenosnom sistemu

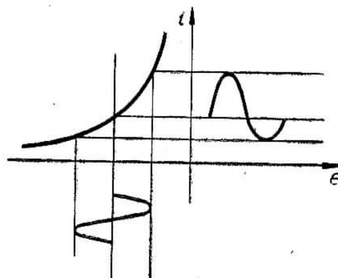
12. — L i n e a r n a i z o b l i č e n j a. Kada od ulaza do izlaza prenosnog sistema neke frekvencije više ili manje oslabe, ta se izobličenja zovu linearna amplitudna izobličenja. Uho dobiva utisak samo promijenjene boje zvuka, bez nekog osjećaja neugodnog zvučanja. Obično uređaji prigušuju najniže i najviše frekvencije zvučnog opsega. Niže frekvencije, sadržane u govoru, uglavnom prenose snagu govora, dok više doprinose razumljivosti. Uzevši u obzir potrebe prenosa snage i razumljivosti govora, smatra se da prenos opsega frekvencija od 200—3 000 Hz uglavnom zadovoljava i jednom i drugom zahtjevu.

Što se tiče vjernog prenosa muzike, također nije potrebno prenijeti čitav akustički spektar frekvencija, ali ipak mnogo širi nego u slučaju govora. U vezi s opsegom frekvencija muzičkih zvukova, prenos frekvencija od 30—10 000 Hz uglavnom zadovoljava u odnosu na radiofonski ospeg od 100—4 500 Hz. Elektroakustički uređaji najbolje kvalitete prenose frekvencije i do 15 000 Hz. Ovakav prenos spada već u tzv. Hi-Fi tehniku (High Fidelity: visoka vjernost), na što ćemo se još osvrnuti kasnije.

Osim amplitudnih javljaju se i fazna linearna izobličenja, što znači da razne frekvencije, sadržane u govoru ili muzici, nisu jednako pomaknute u fazi pri prolazu kroz prenosni sistem. Međutim, u jednokanalnom prenosu uho na njih nije osjetljivo, pa zbog toga ne dolazi do osjetne promjene kvalitete govora ili muzike.

13. — N e l i n e a r n a i z o b l i č e n j a. Kad se na izlazu nekog prenosnog sistema jave nove frekvencije, kojih nije bilo na ulazu, tada su nastala nelinearna izobličenja ulaznog signala. To nastaje zbog nelinearne karakteristike prenosnog sistema i znači da promjeni ulaznog signala ne odgovaraju linearno promjene izlaznog signala (sl. 12). Ako se sad na ulazu u takav sistem nađe neizobličena sinusoidalna veličina izvjesne frekvencije, na izlazu će se pojaviti nove frekvencije koje su

u harmoničkom odnosu s obzirom na ulaznu frekvenciju (pojave se komponente dvostruke, trostruke ili neke višestruke frekvencije od ulazne).



Sl. 12. Nastanak izobličenja na nelinearnoj karakteristici

Međutim, ako je na ulaz nelinearnog sistema došao složeni signal od dvije ili više frekvencija, tada se na izlazu pojave još i frekvencije koje nisu u harmoničkoj relaciji prema ulaznoj (ovo su tzv. izobličenja intermodulacije). Recimo da ulazni signal sadrži dva titraja frekvencija f_1 i f_2, tada se u izlaznom signalu pojave frekvencije $2f_1$, $2f_2$, $(f_2 - f_1)$, $(f_2 + f_1)$. Ovako sastavljeni zvuk uho osjeća kao vrlo neprijatan zbog komponenata zbroja i razlike ulaznih frekvencija. U slučaju signala sastavljenog od još više komponenata nastaju iste kombinacije frekvencija i između ostalih komponenata, što uveliko izobličuje zvuk.

Budući da je uho vrlo osjetljivo na izobličenja intermodulacije (osjeća već i izobličenja manja od 1%), postavljaju se na prenosni sistem u tom smislu strogi zahtjevi. Tako se u radio-prenosu dozvoljavaju izobličenja maksimalno do 5%.

14. — Poslije svega što je rečeno o karakteristikama govornog i muzičkog zvuka, te o izobličenjima, koja mogu nastati bilo u prenosnom sistemu, bilo u izvoru, vidi se da odgovarajući uređaji moraju imati visoku kvalitetu zbog razumljivog prenosa govora, odnosno vjernog prenosa muzike. Za vjernu reprodukciju karakterističnih osobina muzičkih zvukova (visine, boje, vremena trajanja zvuka i dr.) postavljaju se veći tehnički zahtjevi, dok je razumljiv prenos govora moguć i s prenosnim uređajima slabije kvalitete (pogotovo jer tu ne treba prenositi tako širok pojas frekvencija), što znatno snizuje troškove izvedbe. Naravno, da se za specijalne zahtjeve izvode i najkvalitetniji prenosni uređaji, koje današnja tehnika može pružiti.

Pitanja

1. Kada se govori o razumljivom, a kada o vjernom elektroakustičkom prenosu?
2. Koje su karakteristike ljudskog glasa?
3. Na koji se način vrši ispitivanje razumljivosti govora?
4. Što su to logatomi?
5. Kako se definira razumljivost?
6. Koliki se postotak razumljivosti smatra dovoljnim za razumijevanje neke govorne informacije?
7. Kako je sastavljen ljudski glas?
8. Koje područje frekvencija osnovnih titraja zauzima ljudski govor?
9. Koja je razlika između vokala i konzonanata?
10. Što su to formanti?
11. Da li je govorna snaga sadržana u vokalima ili u konzonantima?
12. Koje su karakteristike zvuka proizvedenog muzičkim instrumentima?
13. O čemu ovisi subjektivni osjećaj visine tona?
14. Što je to mel i kako je definiran?
15. Zbog čega neki ton, sviran na raznim instrumentima, ima različitu boju?
16. Koji su karakteristični dijelovi od uspostavljanja do utihnuća tona?
17. Što je vibrato i portamento?
18. Kakva se izobličenja javljaju pri elektroakustičkom prenosu?
19. Kakva mogu biti linearna izobličenja?
20. Koje se novonastale komponente frekvencija mogu pojaviti pri prolazu dviju frekvencija kroz nelinearan sistem?

Određivanje položaja izvora zvuka

15. — Položaj zvučnog izvora u prostoru može se procijeniti jedino slušanjem s dva uha. Jednim se uhom može procijeniti visina i intenzitet zvuka, te vremensko odvijanje zvučne slike (mogućnost određivanja samo udaljenosti). Tek s dva uha, usporedbom veličina zvučnog polja u jednom i drugom uhu, dobiva se sposobnost određivanja smjera izvora zvuka.

Udaljenost izvora zvuka

16. — Udaljenost je moguće procijeniti uglavnom kvalitativno. Pri tom se, dakle, može samo reći da je neki izvor dalje ili bliže, ili se kreće u odnosu na drugi fiksni izvor. Znači, treba imati jedan poredbeni izvor ili bar približno iskustvo o njegovim svojstvima, koja bi se usporedila sa svojstvima promatranog izvora.

Jedan od kriterija za ocjenjivanje udaljenosti jest glasnoća. Ako je ona veća nego što se prema iskustvu pretpostavlja da bi je određeni izvor mogao imati, onda se taj izvor nalazi na manjoj udaljenosti, i obratno.

Druga mogućnost za ocjenu udaljenosti temelji se na svojstvu uha da je osjetljivo, kao i brzinski mikrofon, na titrajnu brzinu zvuka. Tako dolazi u blizini izvora do izdizanja niskih frekvencija. Na sve većim udaljenostima izvora zvuka, na otvorenom prostoru boja zvuka postaje sve svjetlijom jer se sada sve manje čuju basovi.

Pri kretanju zvučnog izvora dolazi do Dopplerova efekta. Ako izvor daje zvuk konstantne frekvencije i brzo se udaljuje od promatrača, zvuk postaje sve dublji. Kod približavanja zvuk je sve viši. Pri tom je uvjet da izvor ne mijenja frekvenciju jer bi u tom slučaju mogla nastati kriva procjena.

Smjer izvora zvuka

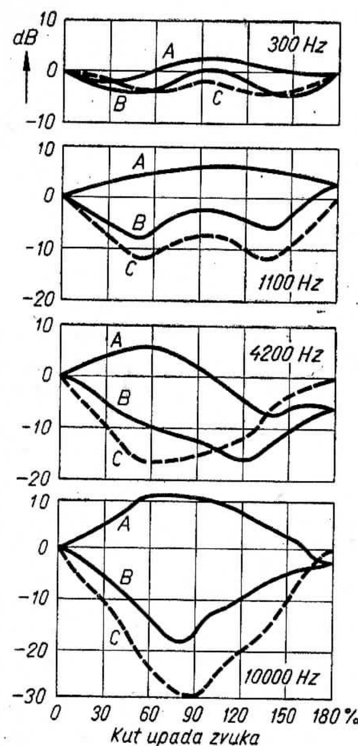
17. — Budući da je slušanje binauralni proces, tj. vrši se pomoću dva zasebna prijemnika — dva uha, dobiva se jedno korisno svojstvo sluha. Naime, moguće je odrediti pored udaljenosti još i smjer dolaska zvučnih valova. Budući da postoje dva odijeljena uha, dolazi do osjećanja

- — razlike intenziteta zvuka u svakom pojedinom uhu,
- — razlike u fazi dolazećeg kontinuiranog zvuka,
- — vremenske razlike pri dolasku do oba uha istovremeno poslanog zvučnog impulsa.

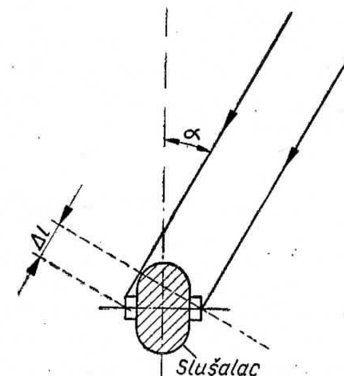
Razlika glasnoće zvuka u jednom i drugom uhu javlja se zbog usmjerenog širenja zvuka, pa glava predstavlja izvjestan zaklon za ono uho, koje se nalazi nasuprot zvučnom izvoru. Ova pojava dolazi do izražaja tek od izvjesne frekvencije na više. Kod niskih frekvencija valne dužine titranja veće su od dimenzija glave pa u tom slučaju nema usmjerenog djelovanja (valovi zvuka se savijaju oko glave pa glava ne zaslanja djelomično jedno uho). Donja frekvencija, kod koje dolazi spomenuta pojava do izražaja, iznosi oko 300 Hz. Prema višim frekvencijama, razlika intenziteta zvuka u bližem i u udaljenijem uhu sve je izrazitija. Ova razlika ovisi, osim od frekvencije, također i od kuta upada zvuka. Spomenute ovisnosti o jednom i drugom parametru prikazuje sl. 13.

Zbog razmaka među ušima (oko 20 cm) i položaja glave u odnosu na izvor zvuka, dolazi do registriranja razlike u fazi. To se dešava zbog razlike u dužini puta, što ga prevali zvuk od svog izvora, pa do jednog i do drugog uha, kada dolazi pod nekim kutom upada (sl. 14).

Pri ovoj pojavi osjećanje fazne razlike ovisi također i od frekvencije. Kod posve niskih frekvencija (ispod otprilike 200 Hz) ovo se ne zamjećuje. U opsegu frekvencija od oko 200 Hz do oko 800 Hz osjećanje razlike faze postaje najizrazitije. Iznad nekih 800 Hz (ova granica ovisi od udaljenosti između ušiju) postaje neznatno zbog činjenice, da tada faza dosiže vrijednosti veće od 180° (u tom slučaju uho bliže izvoru zvuka dobiva utisak kašnjenja zvuka).



Sl. 13. Ovisnost razlike intenziteta u bližem i udaljenijem uhu o kutu upada zvuka u horizontalnoj ravnini, kao i o frekvenciji; A — intenzitet u bližem uhu; B — intenzitet u udaljenijem uhu; c — razlika intenziteta u A i B



Sl. 14. Nastajanje razlike u fazi zbog raznih dužina putova, što ih prevali zvuk do jednog i drugog uha

Primjer 1: Ton frekvencije od 25 Hz stvara na udaljenosti približnog razmaka ušiju od 20 cm (kut upada je znači 90°) razliku u fazi približno 5,5°. Tu razliku uho ne zamjećuje. Ton od 250 Hz stvara razliku u fazi od oko 55°, što je već zamjetljivije. Udaljenost ušiju od 20 cm predstavlja za frekvenciju od nekih 850 Hz otprilike 50% duljine vala, odnosno fazni pomak od $\lambda/2$ (180°), pa kod te frekvencije već počinje nesigurno određivanje smjera.

Općenito je osjećaj smjera izvora zvuka izrazitiji kod složenog zvuka nego kod čistog tona. Naime, složeni zvuk sadrži niz jednostavnih titraja raznih frekvencija. Kod nižih (od oko 200 Hz na više do oko 800 Hz) vrši se određivanje smjera na temelju razlike u fazi, a kod viših (od oko 300 Hz do najviših čujnih frekvencija) prema razlici u glasnoći. Dakle, uvijek u složenom zvuku postoji barem jedna informacija za potrebnu orijentaciju.

Pitanja

1. Da li se slušanjem s jednim uhom može procijeniti udaljenost izvora zvuka?
2. Koji se podatak o zvučnom izvoru dobije slušajući s dva uha?
3. U čemu se sastoji Dopplerov efekt?
4. Na temelju čega se može ustanoviti smjer dolazećeg zvuka?
5. Zbog čega nastaje razlika glasnoće u jednom i drugom uhu?

6. Od koje frekvencije otprilike dolazi do većeg izražaja pojava razlike glasnoća?

7. Zbog čega nastaje fazna razlika zvuka u jednom i drugom uhu?

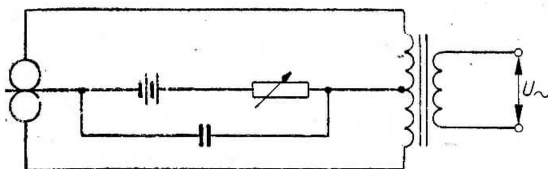
8. U kojem je području frekvencija ova pojava najizrazitija?

9. Da li je kod složenog zvuka teža ili lakša procjena smjera dolazećeg zvuka, i zašto?

Mikrofoni

Ugljeni mikrofon

18. — Osim već opisanih ugljenih mikrofona u odsjecima 24—30 (dio III, str. 31—36) izvjesno poboljšanje predstavlja tzv. simetrični (diferencijalni) ugljeni mikrofon (sl. 15). Kao što je poznato kod ugljenih mikrofona javljaju se, naročito pri većim zvučnim pritiscima, jaka nelinearna izobličenja, koja nastaju zbog nesimetričnog rada membrane (s jedne je strane uzduh, a s druge su ugljena zrnca). Kod simetričnog mikrofona ugljena zrnca nalaze se s obje strane membrane, i membrana pri titranju nailazi na jednak otpor u oba pravca. Dade se dokazati da kod ove konstrukcije u izobličenom izlaznom naponu nestaje parnih harmoničkih komponenata.



Sl. 15. Simetrični (diferencijalni) ugljeni mikrofon

Kondenzatorski mikrofon

19. — Mikrofon izveden prema sl. 16. predstavljen je kapacitivnim izvorom struje, koji je opterećen otporom R. Izlazni napon mikrofona daje izraz

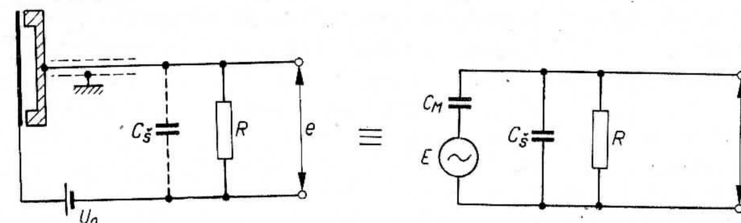
$$e = U_0 \frac{\Delta C}{C_M + C_š}, \text{ gdje je}$$

U_0 — istosmjerni prednapon mikrofona,

C_M — kapacitet mikrofona kad membrana miruje,

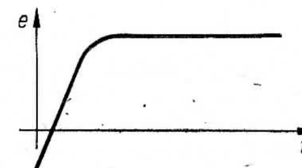
ΔC — izmjenična promjena kapaciteta pri titranju membrane,

$C_š$ — štetni kapacitet priključnih vodova (kabel, ulazni kapacitet pojačala, spojne žice) priključen paralelno otporu R.



Sl. 16. Kondenzatorski mikrofon

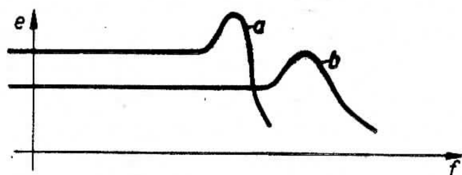
Kako se vidi iz jednadžbe, veći se izlazni napon (odnosno osjetljivost) dobije ako je veći napon U_0 i promjena kapaciteta ΔC. Ova se dva zahtjeva međusobno suprotstavljaju. Ako se želi dobiti veći ΔC, treba da su ploče kondenzatora mikrofona međusobno bliže, što dovodi do veće opasnosti proboja zbog napona U_0. Isto je tako korisni napon veći uz manji štetni kapacitet $C_š$. Iz tog posljednjeg razloga mikrofon se mora priključiti što neposrednije na pojačalo. Poželjno je da priključni vod bude kraći od jednog metra.



Sl. 17. Frekventna karakteristika izlaznog napona kondenzatorskog mikrofona u području niskih frekvencija

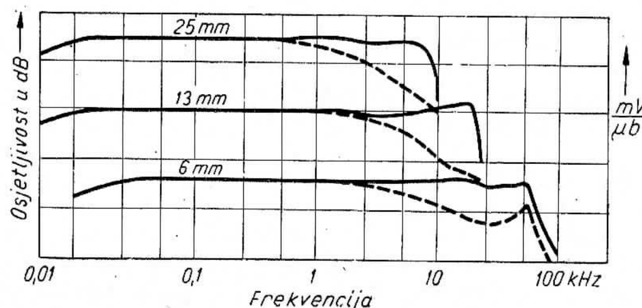
20. — Frekventna karakteristika izlaznog napona (e) pri niskim frekvencijama izgleda kao na sl. 17. Da bi bile prenesene što niže frekvencije, potrebno je da vrijednost opteretnog otpora R (ulazni otpor pojačala) bude što viša (50—100 MΩ), jer se kod sve manjeg otpora R početak pada karakteristike pomiče prema višim frekvencijama (pad karakteristike od 3 dB dešava se kod uvjeta $R = \frac{1}{\omega \cdot C_M}$; budući da vrijednost kapaciteta C_M iznosi oko 100 do 200 pF, što je prilično malo, to za nisku frekvenciju mora R da bude visok). Zahtjevu visokog otpora R odgovara katodno pojačalo (visoka ulazna impedancija), koje se zato vrlo često upotrebljava kao ulazno mikrofonsko pojačalo. Čak je uobičajeno da se minijaturno izvedena elektronka uklopi u kućište zajedno s mikrofonom.

21. — Rezonantna frekvencija tlačnog kondenzatorskog mikrofona postavlja se u gornje frekventno područje. Iznad rezonantne frekvencije karakteristika naglo pada (krivulja *a* u sl. 18). Ako se želi postići što viša rezonantna frekvencija, mora i krutost titrajnog sistema biti viša. To se postiže smanjenjem razmaka ploča (veća opasnost proboja!). Međutim, pri većoj krutosti nastaje smanjenje osjetljivosti (krivulja *b* u sl. 18). Da bi se ovako smanjena osjetljivost ipak osjetnije podigla, buši se nekoliko uvrta u nepokretnoj elektrodi kondenzatorskog mikrofona.



Sl. 18. Frekventna karakteristika izlaznog napona kondenzatorskog mikrofona u području visokih frekvencija

22. — Zbog odlične kvalitete kondenzatorskog mikrofona velika se pažnja posvećuje još i danas daljnjim poboljšanjima ovog mikrofona. Tako je firma Brüel-Kjaer, koja se specijalizirala u izradi elektroakustičkih elemenata i uređaja, razvila i mikrofone s ravnom frekventnom karakteristikom daleko preko dosad poznatih granica. Raznim specijalnim oblicima zaštitne rešetke pred membranom, kao i konstruktivnim promjenama u području membrane, uspjelo je postići ravnu karakteristiku i preko 100 kHz. Na sl. 19. date su frekventne karakteristike triju mikrofona raznih veličina. Vidi se da mikrofon s najširom frekventnom karakteristikom ima najmanju osjetljivost (0,2 mV/μb), i obratno.



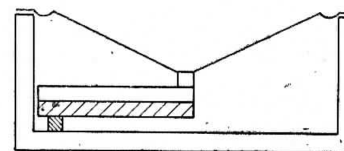
Sl. 19. Frekventna karakteristika triju modernih kondenzatorskih mikrofona (veličine mikrofona su 25 mm, 13 mm i 6 mm) firme Brüel-Kjaer

Opaska. Pored uobičajene osjetljivosti izražene u mV/μb, navodi se često osjetljivost i u decibelima (sl. 19). Ako je osjetljivost data u negativnim decibelima (—dB), onda se pod tim razumijeva razina osjetljivosti u odnosu na referentnu osjetljivost mikrofona od 1 V/μb. Kod osjetljivosti date pozitivnim decibelima (+dB) referentna je osjetljivost 1 μV/μb.

Piezoelektrični mikrofon

23. — Ovaj mikrofon ima slična svojstva kao i kondenzatorski, pa vrijede i slična razmatranja. I piezoelektrički mikrofon ima kapacitivni unutarnji otpor. Međutim, kapacitet C_M ovdje iznosi oko 1 000 pF, pa vanjski opteretni otpor *R* može da bude manji za prenos istih niskih frekvencija kao kod elektrostatskih mikrofona.

Osjetljivost ovog mikrofona je niska. Površina koja titra je mala (oko 1 cm²), pa je i sila mala. Ako se pak površina poveća (povećana masa), snizi se rezonatna frekvencija, pa prema tome i pojas prenošenih frekvencija. Također se može dodati i membrana, čime se povećava ploha, sila, a time i osjetljivost (sl. 20).



Sl. 20. Piezoelektrički mikrofon

Osjetljivost ovisi i od temperature. Pri upotrebi kristala Seignetteove soli pri temperaturi od oko 50 °C nestaje kristalna voda, čime mikrofon izgubi osjetljivost. Osjetljivost se također gubi i pri temperaturi od oko — 40 °C, ali se povišenjem temperature regenerira.

Tablica sažetog pregleda svojstava pojedinih mikrofona

Mikrofon	Prednosti	Nedostaci
Ugljeni	— vrlo osjetljiv — jeftin — neosjetljiv na vjetar (ako se eksperimentira na otvorenom) — malen je i lagan	— šumovi — nestabilnost (rad mu ovisi o položaju) — ograničeno područje frekvencija (ograničena primjena) — potreban je izvor napona — velika izobličenja — postoji prag osjetljivosti
Kapacitivni (kondenzatorski)	— povoljna frekventna karakteristika (najbolja od svih) — stabilan u radu — nema granice osjetljivosti — nije osjetljiv na vjetar i položaj — nema šumova — dobro prenosi tranzijente	— zahtijeva pojačalo u blizini — osjetljiv na vlagu i prašinu
Dinamički s titrajnom zavojnicom	— otporan (neosjetljiv na udare, vlagu i temperaturu) — može da bude lagan i malen — ne treba izvor napona	— ima električke, akustičke i mehaničke rezonancije — frekventna karakteristika nije idealna — ne prenosi dobro tranzijente
Kristalni	— lagan i malen — neznatno osjetljiv na vjetar — povoljna frekventna karakteristika — nema velikih izobličenja niti šumova — ne treba izvor napona	— impedancija i osjetljivost ovise o temperaturi — maleno prigušenje; ima veliki rezonantni hod i dolazi do istitravanja (nije prigušen) — relativno mala osjetljivost (bez membrane)
Dinamički s vrpcom	— povoljna frekventna karakteristika	— osjetljiv na vjetar — kod niskih frekvencija ovisan od blizine izvora (to su redovito gradijentni mikrofoni)

Pitanja

1. Koja je prednost simetričnog ugljenog mikrofona pred nesimetričnim?
2. Koliki mora da bude ulazni otpor pojačala za priključak na kondenzatorski mikrofon?
3. Čime je dan izlazni napon kondenzatorskog mikrofona?
4. Kako utječe povećanje rezonantne frekvencije kondenzatorskog mikrofona na osjetljivost?
5. Do kojih frekvencija rade moderni kondenzatorski mikrofoni?
6. Kako ovisi osjetljivost piezoelektričkog mikrofona od temperature?

Zvučnici

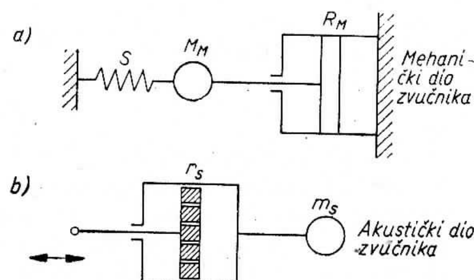
Općenito

24. — Razvoj gradnje modernih zvučnika nije u pronalaženju novih tipova, nego više u poboljšanju već poznatih konstrukcija. Kako zvučnik isijava ograničen pojas frekvencija, to se nastojalo postići ili jednoliko isijavanje čim šireg pojasa frekvencija ili poboljšanje kvalitete isijavanja užeg frekventnog opsega. Pri tom se naročita pažnja posvećuje i poboljšanju prenošenja tranzijenata.

25. — Kod zvučnika važno je postići čim veći stupanj korisnog djelovanja, jer se veliki dio energije gubi u samom sistemu, a mali isijava u prostor. Stupanj korisnog djelovanja, odnosno odnos između isijavane i privedene energije, iznosi obično 0,02—0,1. Znači, da se tek 2—10% od ukupne privedene elekričke energije pretvori u isijavanu akustičku energiju. Pri razmatranju rada zvučnika pogodno je prikazati njegov sistem (elektroakustički pretvarač) električkim analogonom pomoću nadomjesne sheme, na temelju koje se može uočiti kako koje mehaničke veličine djeluju na način isijavanja akustičke energije. Tako dobivenim saznanjima mogu se svjesno usmjerenim mijenjanjem pojedinih konstrukcijskih elemenata postići željene frekventne karakteristike zvučnika.

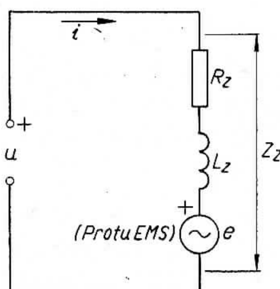
26. — Zvučnik, kao mehanički sistem, predstavlja mehaničku impedanciju, na koju se primjenjuje vanjska sila. Međutim, kako mehanička sila ima svoj uzrok u izvoru električke energije (zvučnik se napaja iz izvora električke energije), to ovaj izvor »osjeća« neko električko opterećenje. Znači da se mehanička impedancija na neki način odslikava u električku. Budući da su bolje proučeni električki titrajni sistemi, dobro je pretvoriti mehaničke elemente u analogne električke, ove posljednje promatrati pri radu i ustanoviti kako pojedini električki elementi utječu na frekventnu karakteristiku, stupanj korisnog djelovanja i slično. Kada se to ustanovi, onda se opet pomoću elektromehaničkih analogija može podesno utjecati na mehaničke elemente da se dobiju željene karakteristike.

U mehaničkom pogledu može se zvučnik prikazati nadomjesnim mehaničkim shemama. Na sl. 21. *a* i *b* prikazan je mehanički i akustički dio zvučnika. Pri tom opruga S predstavlja elastičnost učvršćenja membrane na nosećim dijelovima, element M_M — masu membrane i element R_M — trenje u pokretnim dijelovima. U akustičkom dijelu element m_S predstavlja masu zraka koju membrana povlači na titranje. Otpor r_S predstavlja element na kojemu se energija korisno troši i pretvara u akustičku energiju.



Sl. 21. Nadomjesna shema mehaničkog i akustičkog dijela zvučnika

U električkom pogledu može se zvučnik predstaviti jednom aktivnom impedancijom. Naime, priključivanjem izmjeničnog napona, on nije samo pasivni potrošač električke energije nego postaje i izvor protuelektromotorne sile, koja se suprotstavlja vanjskom naponu, povećavajući tako ukupnu opteretnu impedanciju izvora (sl. 22). Pojava protuelektromotorne sile slijedi iz činjenice da se u titrajnoj zavojnici, budući da se ova giba u magnetskom polju, inducira elektromotorna sila koja se suprotstavlja svom uzročniku. R_z i L_z su radni otpor i



Sl. 22. Impedancija zvučnika pri titranju zavojnice u magnetskom polju jest aktivna impedancija

induktivitet titrajne zavojnice. Elektrodinamički zvučnik je zbog svoje kvalitete jedan od najboljih i najviše se upotrebljava. Kako njegova titrajna zavojnica ima mali broj zavoja, to je impedancija pretežnim dijelom radna (zanemaruje se L_z).

Protuelektromotornu silu E daje izraz:

$$E = B \cdot l \cdot v$$

(kretanjem vodiča l u polju magnetske gustoće B titrajnom brzinom v nastaje EMS E).

Sila F, koja djeluje na membranu, iznosi:

$$F = B \cdot l \cdot I$$

U mehaničkom području sila se određuje izrazom:

$$F = v \cdot Z_M,$$

gdje je Z_M mehanička impedancija sistema.

Iz gornjih relacija slijedi:

$$U = I \cdot R_z + B \cdot l \cdot v = I \cdot R_z + B \cdot l \cdot \frac{B \cdot l \cdot I}{Z_M} =$$

$$= I \left(R_z + \frac{B^2 \cdot l^2}{Z_M} \right).$$

Odavle se vidi da izvor napona U »osjeća« kao opterećenje impedanciju $\left(R_z + \frac{B^2 \cdot l^2}{Z_M} \right)$. Član $\frac{B^2 \cdot l^2}{Z_M}$ nije ništa drugo nego povećanje električke impedancije zbog djelovanja protuelektromotorne sile. Taj izraz pokazuje da se mehanička impedancija preslikava u električku tako da je jedna recipročna drugoj (s jedne strane: velika odgovara maloj, a s druge: induktivna odgovara kapacitivnoj).

Prema elektromehaničkoj analogiji, a zbog činjenice da svi elementi u sl. 21.*a* imaju istu titrajnu brzinu (u električkom pogledu istu struju — dakle su serijski vezani), impedanciju mehaničkog dijela zvučnika daje izraz:

$$Z_{Ma} = R_M + j\omega M_M + \frac{S}{j\omega}.$$

Kod akustičkog dijela zvučnika (sl. 21.*b*) titrajne brzine stapa i mase zraka su različite (u električkom pogledu to su različite struje, a takve mogu postojati samo pri paralelnom spajanju elemenata), pa se zbrajaju vodljivosti elemenata:

$$\frac{1}{Z_{M_b}} = \frac{1}{r_S} + \frac{1}{j\omega m_S}$$

Ukupna impedancija iznosi:

$$Z_M = Z_{Ma} + Z_{Mb} = R_M + j\omega M_M + \frac{S}{j\omega} + \frac{1}{\dfrac{1}{r_S} + \dfrac{1}{j\omega m_S}}$$

Konačno izraz za impedanciju zvučnika postaje:

$$Z_Z = \frac{U}{I} =$$

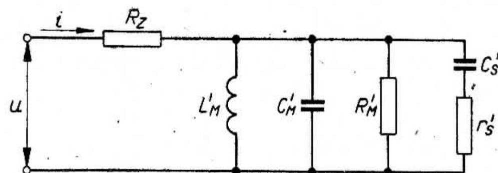
$$= R_z + \frac{1}{\left(\dfrac{1}{\dfrac{B^2l^2}{R_M}} + \dfrac{1}{\dfrac{B^2l^2}{j\omega M_M}} + \dfrac{1}{\dfrac{B^2l^2 j\omega}{S}}\right) + \dfrac{1}{\dfrac{B^2l^2}{r_S} + \dfrac{B^2l^2}{j\omega m_S}}} =$$

$$= R_z + \frac{1}{\dfrac{1}{R'_M} + \dfrac{1}{\dfrac{1}{j\omega C'_M}} + \dfrac{1}{j\omega L'_M} + \dfrac{1}{r'_S + \dfrac{1}{j\omega C'_S}}},$$

gdje je $R'_M = \dfrac{B^2 \cdot l^2}{R_M}$, $C'_M = \dfrac{M_M}{B^2 \cdot l^2}$, $L'_M = \dfrac{B^2 \cdot l^2}{S}$,

$$r'_S = \frac{B^2 \cdot l^2}{r_S} \text{ i } C'_S = \frac{m_S}{B^2 \cdot l^2}$$

Na temelju gornje jednadžbe dade se postaviti nadomjesna električka shema membrane zvučnika koja titra (sl. 23). U shemi induktivitet L'_M, kapacitet C'_M i otpor R'_M predstavljaju elastičnost, masu i mehanički otpor trenja membrane. Element r'_S (tzv. »otpor isijavanja«) propor-



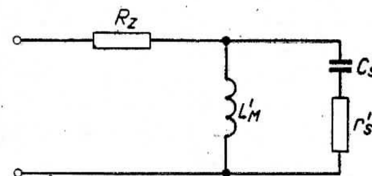
Sl. 23. Nadomjesna električka shema zvučnika

cionalan je korisnoj energiji koja se emitira u prostor (u obliku akustičke energije), a C'_s masi uzduha koju membrana povlači na titranje. Otporom R_z (radni otpor titrajne zavojnice) predstavljena je energija koja se troši na ugrijavanje titrajne zavojnice. Praktički je $R_z \gg r'_S$. Kako je stupanj korisnog djelovanja proporcionalan odnosu snage na

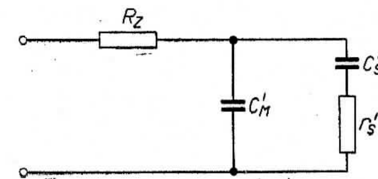
otporu r'_S prema snazi na otporu R_z, to je poželjno da na r'_S vlada što veći napon prema naponu na R_z.

27. — Treba razmatrati i fizikalno šta se dešava posebno u području niskih frekvencija (ispod rezonantne frekvencije) i posebno kod visokih frekvencija (iznad rezonantne frekvencije).

Područje niskih frekvencija. U ovom se području nadomjesna shema svodi na oblik prikazan u sl. 24. Kako je općenito otpor R'_M praktički vrlo visok, on se u paralelnom spoju može zanemariti. Isto je tako pri niskim frekvencijama i kapacitivna reaktancija vrlo visoka, pa se zanemaruje. Preostala induktivna reaktancija postaje prema sve nižim frekvencijama sve manja, sve je manji i napon na njoj u odnosu prema naponu na otporu R_z. Stupanj djelovanja zato pada. Osim toga kapacitivna reaktancija kondenzatora C'_S raste prema nižim frekvencijama, izazivajući tako daljnji pad stupnja djelovanja (ionako malen napon na serijskoj kombinaciji C'_S i r'_S sada sve većim dijelom preostaje na kondenzatoru C'_S, a sve manjim na r'_S. Prema tome ispod rezonantne frekvencije zvučnik vrlo slabo isijava energiju.



Sl. 24. Nadomjesna shema zvučnika u području niskih frekvencija



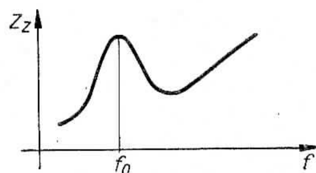
Sl. 25. Nadomjesna shema zvučnika u području visokih frekvencija

Područje visokih frekvencija. Nadomjesna shema za ovaj slučaj izgleda kao na sl. 25. I ovdje dolazi do smanjenja stupnja djelovanja, ali je njegov pad ovisno od frekvencije polaganiji. Ovdje se kapacitivna reaktancija kondenzatora C'_M pri višim frekvencijama sve više smanjuje, pa je i napon na njoj sve manji u odnosu prema naponu na otpornosti R_z. Kako se i reaktancija kondenzatora C'_S smanjuje povećanjem frekvencije, to je napon na r'_S sve bliže naponu na C'_M (povoljniji slučaj nego pri niskim frekvencijama).

Prema višim frekvencijama titra sve manji dio membrane lokaliziran u centru. Time se smanjuje masa M_M, pa prema tome i C'_M, što djeluje u smislu polaganijeg pada stupnja djelovanja.

U području između niskih i visokih frekvencija dolaze u obzir i induktivitet L'_M i kapacitet C'_M, čije se reaktancije izjednače kod određene frekvencije (frekvencije rezonancije), dajući u tom slučaju

veliku impedanciju, odnosno velike amplitude titranja, ili što je isto — maksimum emitirane energije. Karakteristika impedancije ovisno od frekvencije ima tok kao na sl. 26.



Sl. 26. Karakteristika impedancije zvučnika

Kako se iz svega vidi, glavni se dio energije gubi na otporu zavojnice. Stoga treba nastojati da se taj otpor smanji. To se može postići motanjem zavojnice debljom žicom. Kako u tom slučaju treba radi nesmetanog kretanja zavojnice povećati zračni raspor u polju magneta, čime se smanji magnetska gustoća B, to ovaj način nije podesan za izvedbu. Može se s druge strane smanjiti broj zavoja zavojnice, ali niti to nije dobro, jer se smanjuje veličina l (pogonska sila $B \cdot l \cdot I$). Stoga je jedini način povećanje magnetske gustoće B u rasporu.

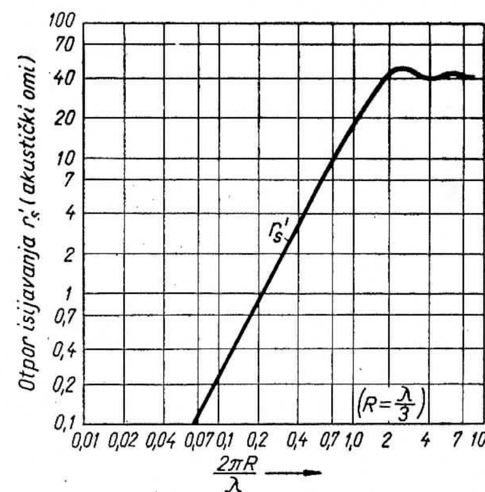
Na temelju nadomjesne sheme na sl. 23 (kompletna shema), i spoznaje da ispod rezonantne frekvencije ubrzo izostaje svako isijavanje traži se da rezonantna frekvencija padne u što niže područje. U tu svrhu treba što veći umnožak $L'_M \cdot C'_M$ $\left(\text{radi } f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L'_M \cdot C'_M}}\right)$.

No, kako se s obzirom na više frekvencije želi manji C'_M, to se traži veći udio induktiviteta L'_M u umnošku $L'_M \cdot C'_M$. Drugim riječima to znači da masa membrane M_M treba da bude manja, a isto tako manja i krutost njezinog učvršćenja S.

28. — Promatrajući zvučnik kao emiter akustičke snage, može se izvršiti usporedba s izvorom električke snage. Snagu koja se troši na nekom otporniku r određuje izraz $P = r \cdot i^2$. U akustičkom području važi slično. Tamo postoje otpor isijavanja i titrajna brzina kao mjerila proizvedene akustičke snage. Prema analogiji može se napisati $P_S = r'_S \cdot v^2$. Amplituda titrajne brzine već je u odsjecima 8, 88 i 89 definirana kao umnožak amplitude titranja i kružne frekvencije $v = a \cdot \omega$. Međutim, i otpor isijavanja (radni dio akustičke impedancije) ovisi od frekvencije i polumjera membrane R prema sl. 27 (ta je ovisnost dobivena računski). Iznad vrijednosti $k \cdot R = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot R \geqq 2$, odnosno otprilike $R \geqq \frac{\lambda}{3}$ otpor isijavanja ostaje konstantno maksimalne

vrijednosti, što je idealno radno područje (λ — dužina zvučnog vala u uzduhu). Kod vrijednosti $R = \frac{\lambda}{3}$ otpor isijavanja dosiže veličinu akustičke impedancije zraka od 41,5 din · s/cm³. Prema tome je veličina otpora isijavanja mjera prilagođenosti titrajne površine na sredinu u kojoj titra. Međutim, već i mali primjer će pokazati kako je kod zvučnika uobičajenih veličina ta prilagođenost jako slaba pri donjem akustičkom području.

Primjer 1: Za frekvenciju $f = 30$ Hz iznosi $\lambda \simeq 11$ m. Znači da bi polumjer morao iznositi barem $R = \frac{\lambda}{3} \simeq 3{,}5$ m, što praktički nije moguće. Obratno, kod zvučnika sa $R = 0{,}1$ m postigne se maksimalni otpor isijavanja tek kod $f = \frac{2 \cdot c}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{2 \cdot 343}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}1} = 1\,100$ Hz, a isijavanje nižih frekvencija ubrzo bi prestalo. Iz primjera proizlazi da početak opadanja otpora isijavanja teži prema nižim frekvencijama, ako se odabere veći polumjer membrane.

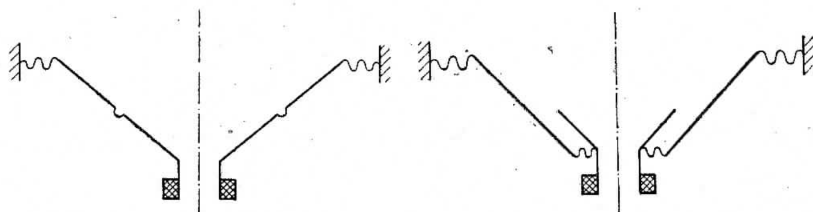


Sl. 27. Otpor isijavanja krutog stapa (membrane) koji titra učvršćen na krutoj beskonačnoj ploči

Zašto je ipak moguće dobiti isijavanje akustičke snage i pri posve niskim frekvencijama uz zvučnike s $R = 10$—20 cm? Razlog je u slijedećem. Iz izraza za snagu P_S opaža se ovisnost snage o dva parametra — r'_S i v. Kako za određeni polumjer membrane R otpor isijavanja r'_S opada prema nižim frekvencijama, mora se na neki način povećati titrajna brzina, da bi umnožak $r'_S \cdot v^2$ ostao konstantan. Brzina se prema nižim frekvencijama može povećati jedino povećanjem

amplitude titranja membrane (prema $v = a \cdot \omega$). Ovo se pak postiže sniženjem rezonantne frekvencije ispod frekvencije pri kojoj nastupa pad otpora isijavanja. U području oko rezonancije su amplitude titranja veće (sl. 26), zbog čega je veća i titrajna brzina.

29. — Gornje razmatranje prikazuje postupak proširenja područja najnižih čujnih frekvencija. Međutim, ako se želi izvesti zvučnik, koji treba prenositi što širi frekventni pojas, onda se opet javljaju poteškoće. Dosad je bilo pretpostavljeno da membrana titra kao kruti stap (kao u III dijelu, odsjeku 49, na sl. 37). No, na višim frekvencijama dolazi do uvijanja membrane kao na sl. 38. (dio III), što dovodi do poništavanja djelovanja pojedinih dijelova membrane (zbog protufaznog kretanja nekih dijelova). Prema tome veći zvučnik nije pogodan za istovremenu reprodukciju i viših frekvencija, ako se ne izvedu neka konstruktivna poboljšanja. U tom smislu su već spomenuti, naročiti oblici membrana kao NAWI-membrana ili membrana s klinastim presjekom (dio III, sl. 39). Osim toga može se membrana podijeliti pomoću jednog ili više kružnih nabora na više segmenata (sl. 28). Na višim frekvencijama nabor djeluje tako, da prekine vezu centralnog i perifernog dijela membrane, pa titra samo centralni dio. Tako se dobiva zvučnik s manjom membranom, koja je kruća, i kod koje zato dolazi do pojave posebnih titranja tek na još višim frekvencijama. Isto djelovanje ima i izvedba zvučnika s dvije membrane (sl. 29), od kojih



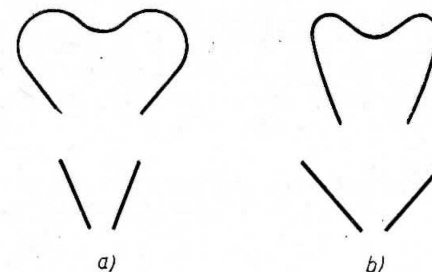
Sl. 28. Membrana s jednim kružnim naborom

Sl. 29. Zvučnik s dvije membrane

manja — koja je kruće vezana za titrajnu zavojnicu — služi za reprodukciju viših frekvencija, a veća za reprodukciju nižih, kad titra zajedno s manjom. Kako je bitno u ovakvim izvedbama da se dobiju dva posebna titrajna sistema — jedan za više i drugi za niže frekvencije — to je povoljnije (naročito u pogledu izobličenja) izvesti dva posebna zvučnika (nema utjecaja jednog sistema na drugi). U takvim slučajevima dovodi se svakom od njih pomoću električkih filtara (tzv. skretnica) posebno pojas niskih i posebno visokih frekvencija, no to će se razmatrati malo kasnije.

Eliptični zvučnik

30. — U novije se vrijeme često upotrebljava zvučnik s eliptičnom membranom. Kod njega je pri malim dimenzijama moguće dobro isijavanje dubokih tonova (područje membrane oko veće osi elipse predstavlja sistem većeg zvučnika). Radi pogodnijeg smještaja u kutiju radio-aparata (štednja prostora), smještava se ovakav zvučnik s dužom osi postavljenom u horizontalnoj ravnini, iako bi s gledišta usmjerne karakteristike povoljniji položaj bio obrnut — mala os u horizontalnoj ravnini. Naime, karakteristika usmjerenosti kod određene frekvencije ovisi od kuta nagiba membrane (sl. 30). Kod membrane prema sl. 30. *a* (mala os u horizontalnoj ravnini) postiže se šire područje ozvučavanja nego kod slučaja u sl. 30. *b* (velika os u horizontalnoj ravnini).



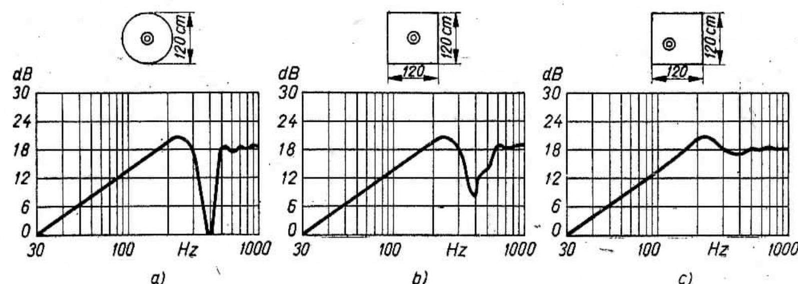
Sl. 30. Karakteristika isijavanja u horizontalnoj ravnini pri manjem (a) i većem (b) kutu nagiba membrane

Ugrađivanje zvučnika u ozvučne ploče, bas-refleks ormare i zvučne stupove

Ozvučne ploče

31. — Da se ukloni već spomenuti akustički kratki spoj (dio III, odsjek 55) ugrađuju se zvučnici u tzv. ozvučne ploče. Pomoću njih se povećava put zvučnih valova, koji se prostiru od stražnje površine membrane prema prednjoj. Zbog razlika putova zvučnih valova s jedne i druge strane membrane i njihova protufaznog superponiranja (koje ovisi od položaja slušaoca), u nekim tačkama prostora dolazi do pojave slabljenja zvučnog tlaka (pojava je izrazitija u prostorima gdje nema reflektiranih valova). Frekvencija, kod koje se ovo javlja ovisi od dimenzija ploče. Što se niža frekvencija želi reproducirati, to dimenzije ploče moraju da budu veće. Da se pak zvučni tlak jednoliko raspodijeli po prostoru, treba paziti na oblik ploče. Ako se npr. zvučnik ugradi u centar kružne ploče, tada su u smjeru svakog radijusa raz-

like putova stražnjeg i prednjeg zvučnog vala jednake, pa će pri nekoj frekvenciji doći do izrazitog slabljenja zvučnog tlaka (izraziti minimum u sl. 31. *a*). Kod ploče kvadratnog oblika taj je minimum manje izražen jer su spomenute razlike putova različite za razne tačke uzduž ruba ploče (sl. 31. *b*). Uklanjanje minimuma može se lijepo postići, ako se zvučnik ugradi malo nesimetrično na ploči, npr. u dijagonalu (time se nešto povisi granična frekvencija), ili se ploči dade još nepravilniji oblik (sl. 31. c).



Sl. 31. Frekventna karakteristika zvučnog tlaka za tri slučaja ugradnje zvučnika na ozvučnu ploču

Potrebne dimenzije ovakvih ploča obično su vrlo velike, što se može izbjeći postavljanjem zvučnika u uglove sobe. Tada zidovi predstavljaju vrlo velike ploče, pa se postižu optimalni uvjeti pri reprodukciji niskih frekvencija (od zidova nastaje višestruka refleksija).

Ozvučne kutije

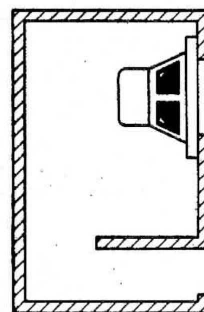
32. — Dimenzije ozvučnih ploča obično su prevelike za upotrebu u zatvorenim prostorijama. Stoga se zvučnici ugrađuju u zvučne kutije. Pri tom se može zamisliti da je otvorena kutija nastala savijanjem rubova ozvučne ploče, tako da se dobio ograđeni prostor.

Ako se kutija posve zatvori, onda je njeno djelovanje slično ozvučnoj ploči beskonačnih dimenzija. Međutim, razlika je u tome što zatvoreni volumen uzduha djeluje kao povećanje ukrućenja titrajnog sistema, čime se povisuje rezonantna frekvencija. Ovaj se nedostatak može ukloniti da se poveća volumen kutije ili izbuši nekoliko otvora sa stražnje strane. Povećanje volumena ima smisla samo do izvjesne granice, jer s jedne strane postoji optimalna vrijednost volumena, iznad koje se više bitno ne snizuje rezonantna frekvencija, a s druge strane, prevelika kutija nezgodna je za smještaj.

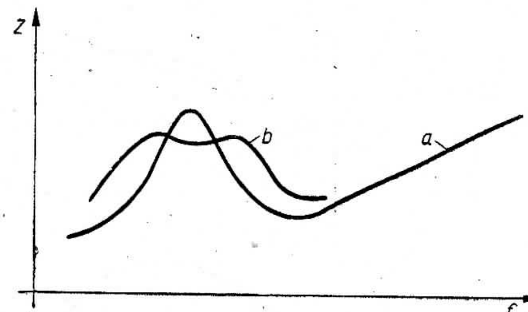
U zatvorenoj kutiji može doći do stojnih valova. Javljaju se vlastite rezonancije. Da se to ne odrazi nepovoljno na frekventnu karakteristiku, vrši se oblaganje unutarnje površine kutije apsorpcionim materijalima (pamuk, staklena vuna i sl.). Također treba izbjegavati paralelne površine.

Bas-refleks

33. — Zatvorenu kutiju moguće je izvesti i s jednim otvorom na prednjoj ploči ispod zvučnika (sl. 32). Smještaj otvora je proizvoljan. Ovakva kutija ima uobičajeni naziv bas-refleks. Volumen uzduha u kutiji predstavlja akustički kapacitet, a otvor izveden u obliku kanala — akustički induktivitet. Zajednička kombinacija obojeg sačinjava titrajni sistem, čija se rezonantna frekvencija mora podudarati ili biti u blizini s rezonantnom frekvencijom samog zvučnika. Ugađanje je lako izvesti mijenjajući ili veličinu otvora jednom daščicom ili dužinu kanala. Kako su kombinacijom zvučnika i kutije dobivena dva vezana titrajna sistema, izraziti rezonantni maksimum zvučnika postepeno se pri ugađanju pretvara u dva nešto raširena i snižena maksimuma (sl. 33).



Sl. 32. Bas-refleks



Sl. 33. Frekventna karakteristika samog zvučnika (a) i ugrađenog u bas-refleks (b)

Kako se iz sl. 33. vidi basovi su pojačani i ispod i iznad rezonantne frekvencije zvučnika. Ujedno su zbog sniženog rezonantnog izdizanja zvučnika amplitude titranja membrane manje, pa su i izobličenja manja.

Na otvoru iz kutije isijavanja su s prednje i sa stražnje strane membrane u fazi, pa se zbrajaju. Stoga je isijavanje snažnije kod bas-refleksa nego kod posve zatvorene kutije.

I kod bas-refleksa oblažu se unutrašnje stijenke sredstvima koja upijaju zvuk, da bi se smanjio utjecaj stojnih valova.

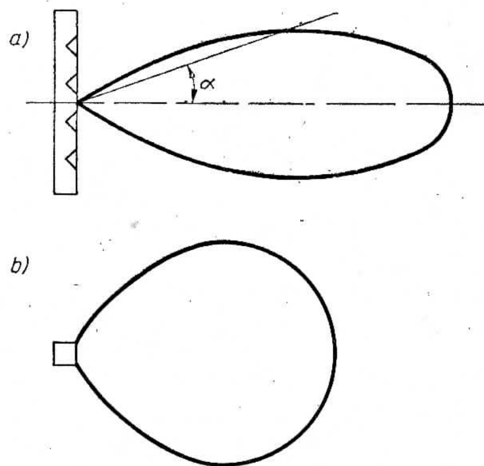
U bas-refleks nema smisla ugrađivati svaki zvučnik. U tu svrhu potrebni su kvalitetni zvučnici s rezonantnom frekvencijom ispod 75 Hz.

Zvučni stup

34. — Ugrađivanjem više zvučnika u kutiju, koja ima oblik vertikalno postavljena stupa (vertikalni niz zvučnika), dobiva se u horizontalnoj ravnini kružna karakteristika isijavanja, a u vertikalnoj znatno spološtena karakteristika (sl. 34). Usmjernu karakteristiku u vertikalnoj ravnini daje izraz:

$$S = \frac{\sin\left(n \cdot \frac{1}{2} \cdot k \cdot d \cdot \sin \alpha\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot k \cdot d \cdot \sin \alpha\right)}$$

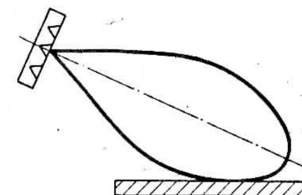
gdje je:
S = osjetljivost zvučnika u nekom smjeru
n = broj zvučnika
d = razmak među zvučnicima
$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$
α = smjer promatrane veličine S.



Sl. 34. Karakteristika isijavanja zvučnog stupa

Što je više zvučnika u zvučnom stupu, to je usmjerenije isijavanje u vertikalnoj ravnini. Postavljanje zvučnog stupa vrši se na visini od nekoliko metara iznad ozvučavane površine i uz nagib od nekoliko stupnjeva. Međutim, kod dužih stupova (veća usmjerenost) nagib stupa može da bude kritičan, jer se može desiti da usmjerna karakteristika

ne pokriva neke dijelove ozvučavane površine, i dio slušalaca uopće ne čuje program. Inače se uz pravilan nagib može postići idealno ozvučavanje čitave površine: u smjeru najudaljenijih slušalaca isijava se najveća energija, što je i potrebno, jer energija opada s kvadratom udaljenosti; prema najbližim slušaocima isijava se u odgovarajućem omjeru manja energija. Tako je čitava površina ozvučena otprilike jednakim intenzitetom zvuka (sl. 35).



Sl. 35. Način postavljanja zvučnog stupa da bi se postiglo jednoliko ozvučavanje željene površine

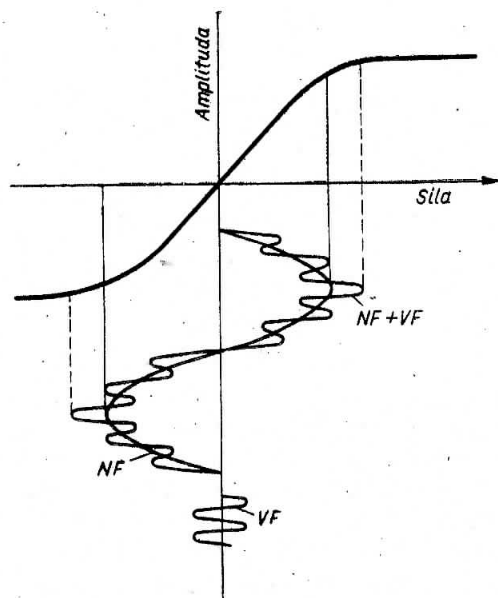
Međutim, nezgodna je pojava da je usmjerenost pri višim frekvencijama veća nego pri nižim. Više se frekvencije istina dalje prostiru, ali su zato njima pojedina područja i neozvučena. Ovo povećanje usmjerenosti može se ublažiti zakretanjem zvučnika u stupu jednog prema drugom za neki mali kut, tako da se dobije spiralno uvijeni niz zvučnika, ili se svaki drugi zvučnik zakrene za isti kut.

Pogodna je činjenica što se u zvučni stup mogu ugraditi jeftiniji zvučnici malih dimenzija. Potrebno je samo da svi rade istofazno.

Frekventne skretnice

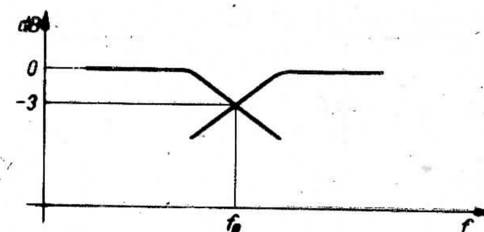
35. — Danas se često, radi kvalitetnije reprodukcije odijele područja visokih frekvencija od područja niskih. Reprodukcija ovako odijeljenih područja izvodi se s dva posebna zvučnika. Ovaj postupak ne vrši se toliko radi prenošenja šireg pojasa frekvencija, koliko da se izbjegnu izobličenja. Naizgled bi se pojas frekvencija mogao laganije obuhvatiti zvučnicima posebno izvedenim za reprodukciju niskih i posebno visokih frekvencija (jer, konačno, danas postoje i takve konstrukcije zvučnika, da jedan sam isijava dovoljno širok pojas). Izobličenja koja se često javljaju kod prenošenja šireg pojasa frekvencija preko jednog zvučnika su tzv. intermodulaciona izobličenja (spomenuta u odsjeku o vjernom prenosu govora i muzike). Naime, kod zvučnika postoji samo do izvjesne granice linearan odnos između sile koja djeluje na mem-

branu i amplitude titranja membrane (sl. 36). Povećanjem sile iznad određene vrijednosti nema povećanja amplitude. Kako kod niskih frekvencija dolazi do najvećih amplituda, može se desiti da neka niska frekvencija izazove toliku amplitudu da se dođe upravo do koljena karakteristike. U ovom slučaju nema još izobličenja. Međutim, ako se s ni-

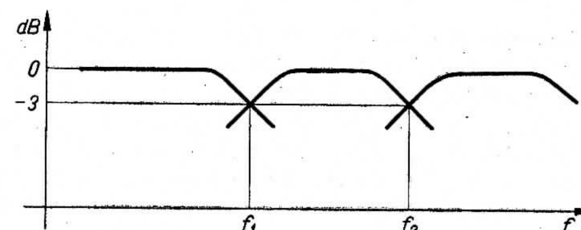


Sl. 36. Nastanak izobličenja intermodulacije uslijed nelinearne karakteristike zvučnika

skom pojavi još i neka visoka frekvencija, ona će izazvati daljnje povećanje sile, čime se dolazi u zakrivljeni dio karakteristike. Tako nastaje izobličenje intermodulacije (pojava novih frekvencija zbroja i razlike, koje su uhu vrlo neugodne). Da se izbjegne ovo neharmoničko izobličenje, električki se odjeljuje jedan frekventni pojas od drugog prije ulaza u različite zvučnike. To se vrši pomoću tzv. frekventnih skretnica, koje nisu ništa drugo nego električki filtri. Gdje će se postaviti granica između jednog i drugog područja, to ovisi o zvučnicima. Obično je granična frekvencija f_0 negdje između 1 000 Hz i 2 000 Hz kad se upotrijebe dva zvučnika (sl. 37). Često se upotrebljavaju i tri zvučnika: za nisko, srednje i visoko područje frekvencija. U tom su slučaju granične frekvencije kod 300 Hz i 2 000 Hz (sl. 38).



Sl. 37. Dijeljenje akustičkog pojasa frekvencija na nisko i visoko područje



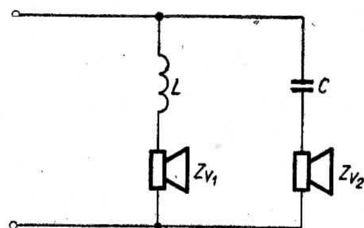
Sl. 38. Dijeljenje akustičkog pojasa frekvencija na nisko, srednje i visoko područje

36. — Jedan od jednostavnijih načina odjeljivanja visokih frekvencija od niskih prikazuje sl. 39. Induktivitet L ne dozvoljava prolaz višim frekvencijama na zvučnik Zv_1, koji je izveden za reprodukciju basova, dok kondenzator ima sličnu ulogu za niže frekvencije, koje ne dospijevaju na visokotonski zvučnik Zv_2. Veličine kondenzatora i zavojnice moraju se odrediti tako da je granična frekvencija ista i za visoke i za niske tonove. Pri tom veličina induktiviteta određuje gornju graničnu frekvenciju za tonove koji dolaze na zvučnik Zv_1, a veličina kondenzatora donju graničnu frekvenciju za tonove u zvučnik Zv_2. Stoga važi:

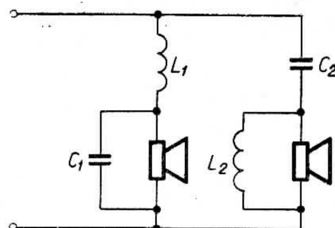
$$L = \frac{R}{2\,\pi\,f_0} \quad \text{i} \quad C = \frac{1}{2\,\pi\,f_0\,R}$$

gdje je R — radni otpor zvučnika Zv_1 i Zv_2.

Frekventnu karakteristiku za spoj prema sl. 39. prikazuje sl. 37. Prigušenje neželjenog pojasa frekvencija vrši se nakon izvjesne frekvencije uz nagib karakteristike od 6 dB/oktavi. Nagliji pad karakteristika dobiva se električkom skretnicom prema sl. 40. Ovdje nagib iznosi 12 dB/oktavi, jer se djelovanje serijskog induktiviteta potpomaže djelovanjem paralelnog kapaciteta, i obratno.



Sl. 39. Frekventna skretnica kojom se dobije pad karakteristike od 6 dB/oktavi u nepropusnom području



Sl. 40. Frekventna skretnica za pad karakteristike od 12 dB po oktavi u nepropusnom području

37. — Spajanje više zvučnika na izlaz iz pojačala vrši se prema određenim zahtjevima. Jedan od njih je prilagođenje impedancije sistema zvučnika na izlazni otpor pojačala. Pri tom se traži prenos maksimalne snage uz dopuštena izobličenja. Kod spoja prema sl. 39. opteretna impedancija pojačala ostaje približno konstantna u cijelom frekventnom pojasu, što se i želi postići. Naime, kako se impedancija jednog zvučnika i pripadnog skretnog elementa povećava pri promjeni frekvencije, to se paralelnoj kombinaciji drugog zvučnika i njemu pripadnog elementa impedancija smanjuje, pa ukupno opterećenje ostaje otprilike isto. Ukoliko bi došlo do mijenjanja opteretne impedancije, dobra je primjena naponske negativne reakcije u pojačalu, jer ona smanjuje promjene pojačanja koje su nastale zbog spomenutog uzroka.

38. — Drugi je zahtjev istofazni rad u oba zvučnika. Naime, treba da tako titraju, da im se membrane pri uzbudi istodobno gibaju prema napred ili natrag. Kod upotrebe više zvučnika, priključenih bez frekventnih skretnica, to se vrši priključivanjem zvučnika na istovrsne stezaljke. Međutim, budući da struja kroz induktivitet zaostaje za 90°, a struja kroz kondenzator napreduje za 90° prema priključenom naponu (relativni odnos faza induktivne i kapacitivne struje iznosi tada 180°), to se sami zvučnici moraju priključiti u stvari protufazno da bi u prelaznom području nakon zakreta faze u skretnim elementima od 180°, isijavali istofazno.

Pitanja

1. U kojim se granicama kreće stupanj korisnog djelovanja zvučnika?
2. Kako se zvučnik može prikazati u mehaničkom pogledu, a kako u električkom?
3. Nacrtati nadomjesnu električku shemu zvučnika. Razmotriti kako pojedine mehaničke veličine utječu na frekventnu ovisnost stupnja djelovanja u području posebno niskih i posebno visokih frekvencija.
4. Nacrtati karakteristiku ovisnosti otpora isijavanja o frekvenciji.
5. Uz koji uvjet dolazi do prilagođenja otpora isijavanja na impedanciju uzduha?

6. U koje se područje frekvencija nastoji dovesti rezonantna frekvencija zvučnika i zašto?
7. Na koje se sve načine nastoji proširiti frekventni opseg zvučnika prema višim frekvencijama?
8. Koje su karakteristike eliptičnog zvučnika?
9. Zašto se ugrađuju zvučnici u ozvučne ploče? Kako se mora zvučnik smjestiti na ploču da ne dođe kod određene frekvencije do slabljenja zvučnog tlaka?
10. Koje su prednosti ozvučne kutije pred ozvučnom pločom? Na koji se način izbjegava pojava stojnih valova?
11. Što je to bas-refleks? Na koji način dolazi do pojačanja basova?
12. Kako izgleda karakteristika isijavanja zvučnog stupa u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini?
13. Na koji se način dobiva jednoliko ozvučena veća površina?
14. Iz kojeg se razloga odjeljuje područje niskih od područja visokih frekvencija?
15. Kakva su intermodulaciona izobličenja, i zbog čega dolazi do njih pri isijavanju šireg frekventnog spektra preko jednog zvučnika?
16. Koja se granična frekvencija odabire pri dijeljenju akustičkog spektra na dva područja, a koje frekvencije kod tri područja?
17. Kojim je zahtjevima podvrgnuto spajanje više zvučnika na izlaz pojačala?

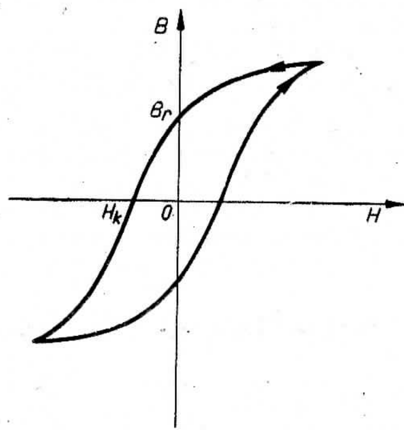
Magnetsko snimanje zvuka

Uvod

39. — Mogućnost registracije zvučnih pojava magnetskim putem bila je poznata još u prošlom vijeku. Prve ideje o tome pojavile su se već desetak godina poslije pojave mehanografske registracije (Edisonova fonografa). Međutim, kako je razvoj tehnike, osobito na području tehnologije materijala, bio u svom začetku, dobre ideje se često nisu mogle realizirati. Kao prvi praktični rezultat nastojanja na polju snimanja magnetskim putem pojavio se 1900. g. »praotac« današnjeg magnetofona, tzv. »telegraphon«. Konstruktor je bio danski inženjer V. Poulsen. Iako je taj uređaj bio kasnije i poboljšan, ipak se zbog mnogih nedostataka nije održao. Iza toga nastaje duža stanka na tom polju, pa se tek tridesetih godina ovog vijeka opaža nagliji napredak, koji je u godinama poslije II svjetskog rata dostigao visoki stupanj razvoja. Danas je, zahvaljujući nesumnjivom i bitnom napretku, kako na polju razvoja sastavnih elemenata, tako i razvojem metoda snimanja, došlo do takve situacije da magnetsko snimanje ima niz prednosti pred drugim načinima snimanja, i sve se šire upotrebljava. Naročite su mu prednosti da se lako vrši snimanje, brisanje i reproduciranje nekog programa; pri tom se može tonski nosač, ako je izveden kao vrpca, rezati i lijepiti. Najzad, pri reprodukciji se vrpca ne troši.

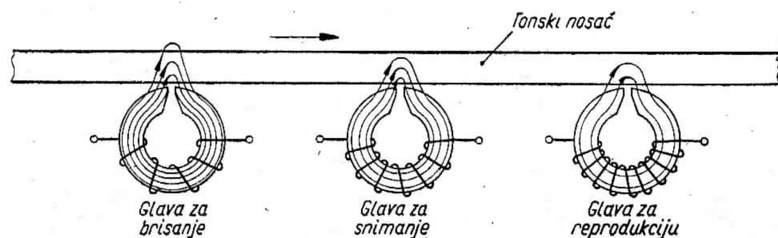
Snimanje uz istosmjerno predmagnetiziranje

40. — Princip magnetskog snimanja dade se protumačiti poznavajući fizikalne karakteristike feromagnetskog materijala. Te se karakteristike vide iz krivulje magnetiziranja, koja prikazuje, kao što je poznato, odnos između magnetskog napona i magnetske struje. Kako se vidi iz dane karakteristike (sl. 41), na apscisi je nanesena veličina magnetskog polja H, koje je proporcionalno magnetskom naponu, a na ordinati magnetska gustoća B (indukcija), koja je pak proporcionalna mag-



Sl. 41. Ovisnost magnetske gustoće o magnetskom polju kod krivulje magnetiziranja

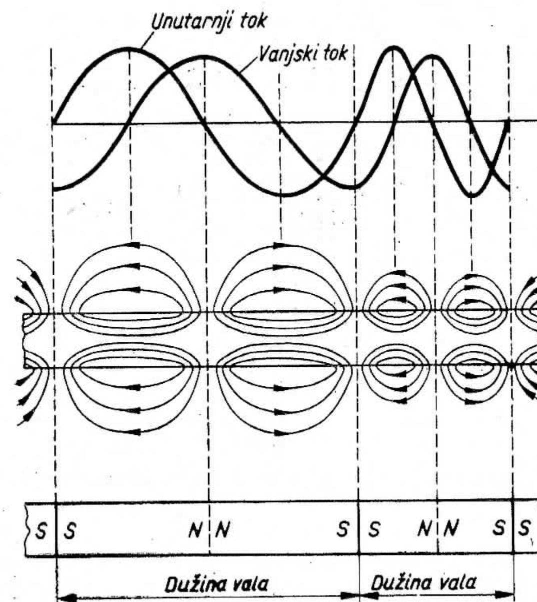
netskoj struji. Iz slike slijedi da odnos navedenih veličina nije linearan i da, što je naročito važno, proces magnetiziranja nije reverzibilan, ako je primijenjeno iole veće magnetsko polje. Ovo posljednje znači da stanje materijala poslije magnetiziranja nije jednako stanju prije magnetiziranja. Ako se provelo magnetiziranje poljem do vrijednosti kad više nema povećanja magnetske gustoće (do zasićenja), tada uklanjanjem tog



Sl. 42. Raspored postavljanja glava kod magnetofona

polja u materijalu preostaje neka zaostala magnetska gustoća veličine B_r, nazvana remanencijom. Preostaje dakle magnetska prošlost materijala, koji ostaje magnetiziran. Ova pojava daje osnovu za tehniku memoriranja nekog signala — za snimanje neke zvučne pojave pretvorene u električku i naposljetku u magnetsku. Međutim, izvođenje ovog procesa stvara niz poteškoća.

41. — Samo se snimanje izvodi na slijedeći način (sl. 42). Pomični tonski nosač, koji je obično plastična vrpca s nanesenim slojem magnetskog materijala, prislonjen je na tri glave, (za brisanje, snimanje i reprodukciju)*. Ove se sastoje od prstenastog feromagnetskog materijala s rasporom okrenutim prema vrpci i odgovarajućeg svitka. Raspor na glavama služi za stvaranje većeg magnetskog otpora na tom mjestu. Prislanjanjem vrpce na glavu zatvara se magnetski tok kroz prsten i vrpcu, budući da je sada magnetski otpor u vrpci mnogo manji nego u rasporu. Kad ne bi bilo raspora, tok bi se zatvorio samo kroz prsten, i ne bi bilo magnetiziranja vrpce. Kod glave za snimanje dovodi se u svi-

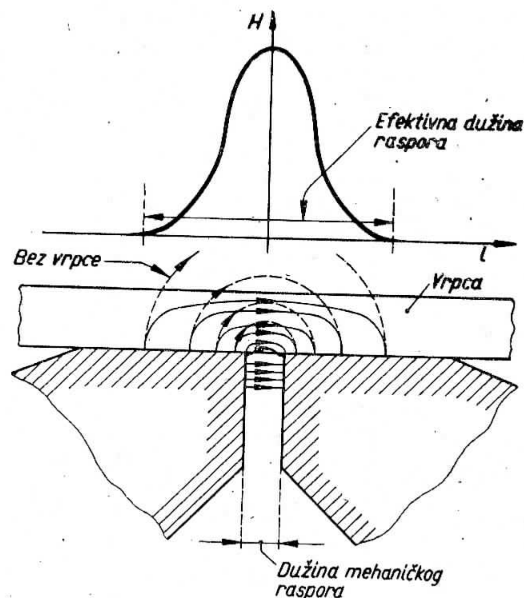


Sl. 43. Izgled magnetskog toka u tonskom nosaču pri snimanju nekog signala

*) Umjesto tri posebne glave, može postojati samo jedna, zajednička za sve tri potrebne operacije. Međutim, u tom se slučaju kontrola snimljenog programa (reprodukcija) može vršiti tek poslije premotanja snimljene vrpce. Uz tri posebne glave postoji prednost da se brisanje, snimanje i reprodukcija mogu izvršiti istodobno.

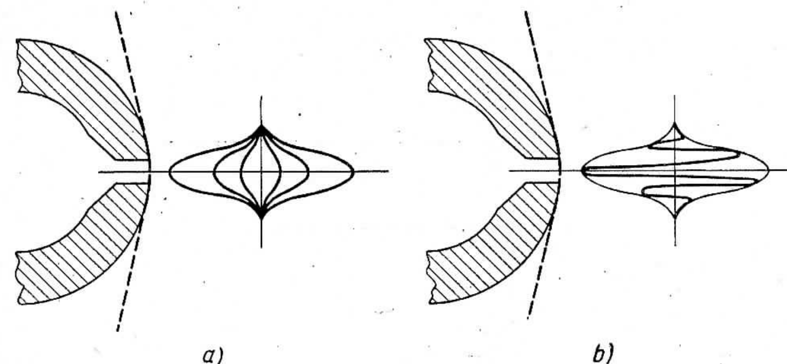
tak tonfrekventna struja iz pojačala, koja stvara isto takav promjenljivi magnetski tok, za magnetiziranje pomične vrpce. Kod glave za reprodukciju situacija je obratna: magnetski tok vrpce prolazi i kroz prsten, inducirajući elektromotornu silu u svitku. Sl. 43. prikazuje način snimanja nekog sinusoidnog signala. Jasno se vidi da u tonskom nosaču (vrpci) nastaje niz izmjenično namagnetiziranih mjesta koja se mogu predstaviti magnetima. Dužina magnetskog vala u nosaču određena je s dva nasuprot postavljena magneta

42. — Radi shvaćanja magnetskog snimanja treba uočiti kakav izgled ima magnetsko polje u okolini raspora. Na sl. 44. prikazan je



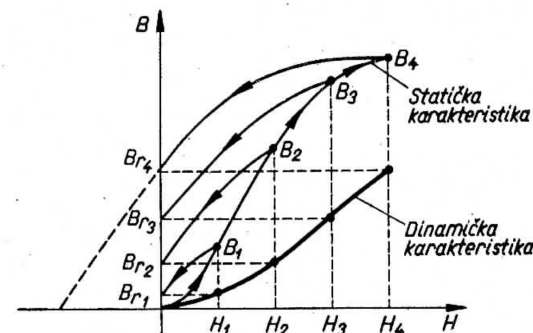
Sl. 44. Efektivni je raspor veći od mehaničkog raspora

tok magnetskog polja u ovisnosti od dužine l, ako kroz svitak glave za snimanje teče istosmjerna struja. Budući da se silnice šire i izvan uzdušnog raspora, postoji izvjesno polje (iako sve manje pri sve većoj udaljenosti) i izvan samog raspora. Na taj je način zapravo efektivna dužina (korištena pri snimanju) veća od dužine mehaničkog raspora. Primjenom izmjenične struje, magnetsko polje dobiva za neke pojedine vrijednosti struje izgled prema sl. 45 *a*. U slučaju da je brzina vrpce takva, da se pri prolazu jednog elementa vrpce kroz dužinu raspora izvrši nekoliko ciklusa magnetiziranja, polje ima izgled kao na sl. 45 *b*.



Sl. 45. Izgled momentalnih vrijednosti izmjeničnog polja (a) i prostorno-vremenski dijagram polja (b)

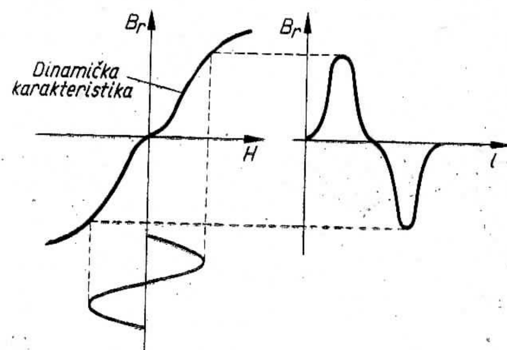
43. — Fizikalni proces snimanja vidi se iz tzv. dinamičke karakteristike koja se izvodi iz poznate statičke histerezne krivulje magnetiziranja. Sl. 46. prikazuje ovaj postupak. Dinamička karakteristika prikazuje vrijednosti remanentnih magnetskih gustoća koje su preostale kad



Sl. 46. Postupak dobivanja dinamičke magnetske karakteristike, koja prikazuje ovisnost remanentnih magnetskih gustoća o magnetskom polju

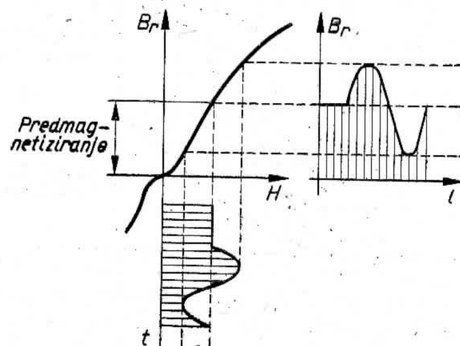
se ukloni primijenjeno polje. Naime, primjenom magnetskog polja H_1, u neutralnom magnetskom materijalu javlja se gustoća B_1. Kad se polje ukloni, magnetska se gustoća ne vraća na vrijednost nula (budući da proces nije reverzibilan), već na vrijednost B_{r1}. Isto važi i za druge vrijednosti polja.

Ako se sad vrši snimanje nekog sinusoidnog signala na neutralnom tonskom nosaču (sl. 47), nastaje zbog zakrivljenosti dinamičke karakteristike dosta veliko izobličenje snimljenog signala. Da se to izbjegne, uvedeno je snimanje uz istosmjerno predmagnetiziranje vrpce.



Sl. 47. Neposredno snimanje na magnetski neutralnom tonskom nosaču

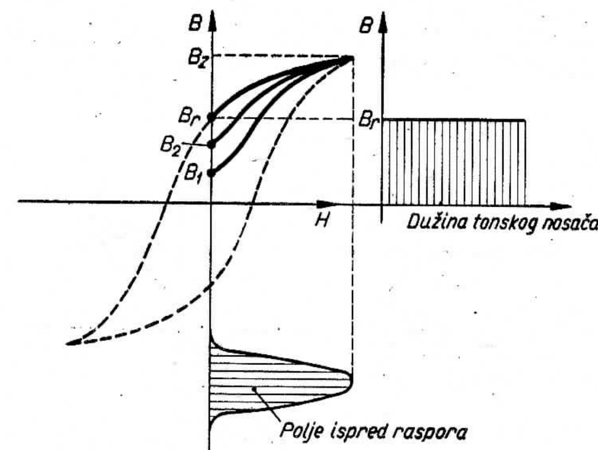
Naime, kako dinamička krivulja ima jedan relativno linearan dio svog toka, dobro je prebaciti snimanje na taj dio. Radi toga šalje se kroz svitak glave za snimanje istosmjerna struja, kojoj se superponira izmjenični signal (sl. 48). Ovakvim snimanjem dobiva se manje izobličen signal. Međutim, dinamika je ograničena jer se pri većim signalima zalazi u sve zakrivljeniji dio karakteristike.



Sl. 48. Snimanje uz istosmjerno predmagnetiziranje (pomicanjem radne tačke na ravni dio karakteristike tonskog nosača)

Brisanje istosmjernim poljem

44. — Brisanje neke snimke vrši se ili magnetskim zasićenjem čitavog tonskog nosača, ili posvemašnjim uklanjanjem remanencije. Kod prvog načina dovede se u svitak glave za brisanje tolika istosmjerna struja, koja će proizvesti takvo polje, da će se vrpca magnetski zasititi, bez obzira na remanenciju (B_1 i B_2 na sl. 49) koju imaju pojedini dijelovi vrpce. Nakon izlaska vrpce izvan utjecaja magnetskog polja, ostaje čitava jednoliko magnetizirana na magnetsku gustoću B_r.



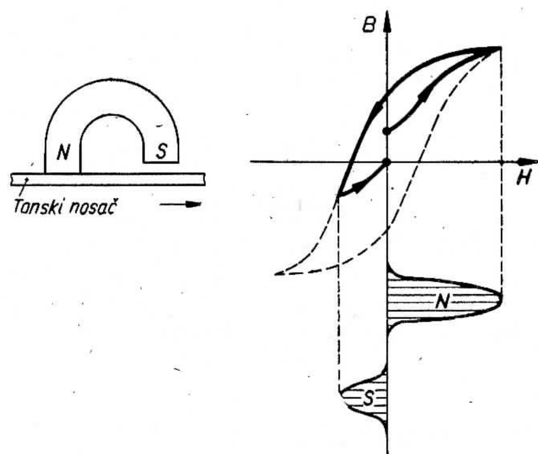
Sl. 49. Način brisanja istosmjernim poljem da se tonski nosač dovede u magnetsko zasićenje od bilo koje remanencije B_1 ili B_2

Ako se pak želi ukloniti ova maksimalna magnetska gustoća vrpce, tada treba primijeniti polje suprotnog smjera i takve veličine, da nakon uklanjanja polja tonski nosač ostane magnetski neutralan. Ovaj se proces vidi na sl. 50. Ovdje se i magnetizirajuće i razmagnetizirajuće polje proizvodi stalnim magnetom (suprotno polje je manje po veličini zbog veće udaljenosti *S* pola od vrpce). Poljem jednog smjera vrpca se najprije dovede do zasićenja, a onda djelovanjem polja drugog smjera i njegovim uklanjanjem do remanencije jednake nuli.

45. — Snimanje pomoću istosmjernog predmagnetiziranja nije se u modernim magnetofonima održalo zbog niza nedostataka. Iako se nastojalo da se tim postupkom izbjegnu izobličenja, ipak ona ostaju dosta zamjetljiva. Harmonička izobličenja uzrokovana su, osim zakrivljenošću dinamičke karakteristike, još i utjecajem demagnetiziranja, kao i utjecajem efekta raspora, što su sve izrazitije pojave prema višim frekvencijama. Osim izobličenja javljaju se pri predmagnetiziranju i prilični šumovi, zbog nehomogenosti magnetskog materijala na vrpci. Ta se pojava opaža i bez signala. Zbog toga je ovakvim snimanjem ograničena dinamika do najviše **38 dB**.

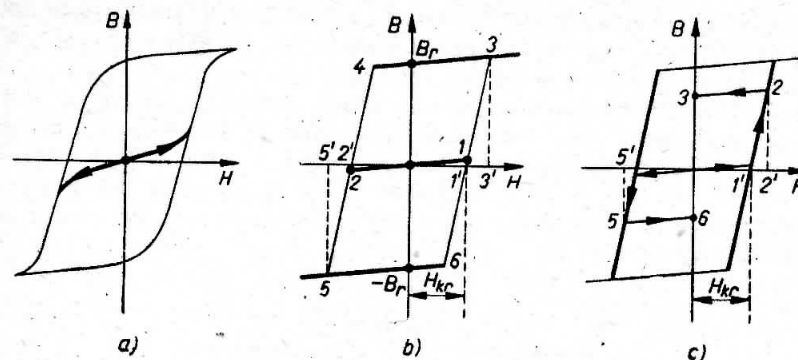
Snimanje s visokofrekventnim predmagnetiziranjem

46. — Radi jednostavnosti treba realnu karakteristiku magnetiziranja predstaviti u nešto idealiziranom obliku. Sl. 51. *a* prikazuje realnu karakteristiku, a sl. 51. *b.* idealiziranu. Ako se proces magnetiziranja neutralnog magnetskog materijala vrši bilo kojim poljem koje je manje od vrijednosti H_{kr}, tada uklanjanjem polja magnetska gustoća B uvijek padne na vrijednost nula — kaže se da je proces reverzibilan



Sl. 50. Način orisanja istosmjernim poljem da se prvo tonski nosač magnetski zasiti, a zatim se suprotnim poljem dovede do remanencije jednake nuli

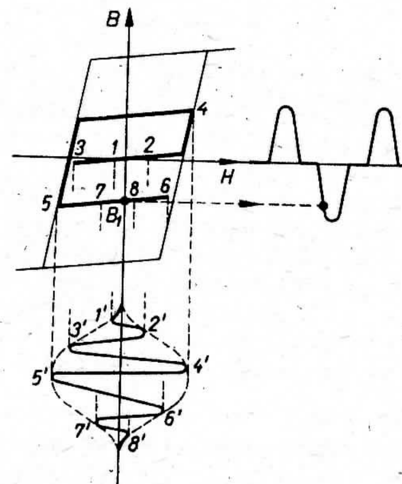
(povratan). Isto je tako proces reverzibilan u slučaju ako polje premaši vrijednost iznad tačke *3'* ili u suprotnom smjeru iznad tačke *5'* u sl. 51. *b.* U ovom slučaju uklanjanjem polja magnetska gustoća pada na vrijednost $+B_r$, odnosno na $-B_r$. Uz ovako magnetizirani materijal (na veličinu B_r), svakim daljnjim magnetiziranjem i uklanjanjem polja bilo koje veličine, magnetska gustoća pada po istoj krivulji na vrijednost B_r. Međutim, postoji i proces magnetiziranja, koji je ireverzibilan (nepovratan). To je onaj, pri kojem se primjenjuje polje po veličini veće od H_{kr}, a manje od onoga polja koje odgovara tački *3'* na sl. 51. *b.* Na sl. 51. *c* vidi se da polje veličine do tačke *2'* izaziva magnetsku gustoću određenu tačkom *2*, a uklanjanjem polja gustoća ne pada na nulu, već na vrijednost u tački *3.* Isto važi i za stanje određeno tačkama *5', 5.* i *6.*



Sl. 51. a) stvarna krivulja magnetiziranja; b) i c) idealizirane krivulje magnetiziranja zbog laganijeg uočavanja reverzibilnog i ireverzibilnog procesa magnetiziranja

Brisanje izmjeničnim poljem

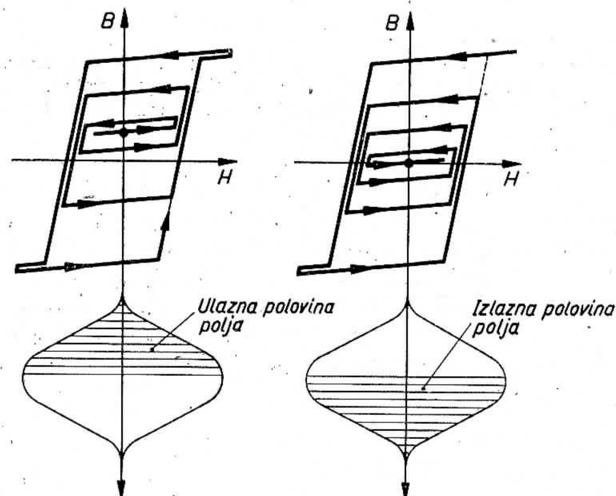
47. — Ako se vrpca magnetizira izmjeničnim poljem po veličini manjim od vrijednosti H_{kr}, onda će ona izići iz polja magnetski neutralna. Ako je to polje nešto veće od H_{kr}, tada slijedi proces prikazan na sl. 52. Nakon izlaska iz polja, u vrpci je preostala remanencija B_1. Međutim, da se poslije izlaska iz polja ukloni svaka remanencija, odnosno da vrpca iziđe nemagnetizirana, treba samo dovoljno povećati fre-



Sl. 52. Magnetiziranje izmjeničnim poljem s amplitudama nešto većim od H_{kr} i dovoljno niske frekvencije

kvenciju izmjeničnog polja. U tom slučaju izvršit će se nekoliko sve užih petlji magnetiziranja, kakva je prikazana na sl. 52. (deblje izvučene linije) sa završetkom u ishodištu ($B_r = 0$).

Najčešće se, međutim, brisanje izvodi u principu sličnim načinom kao i pri brisanju istosmjernim poljem. Vrpca se, dovođenjem u izmjenično polje dovoljne veličine najprije dovede u stanje zasićenosti kroz nekoliko sve širih petlji magnetiziranja, od bilo koje remanencije, a zatim se pri izlaznom dijelu polja petlje sve više sužuju, dok se sve ne završi u ishodištu (sl. 53).



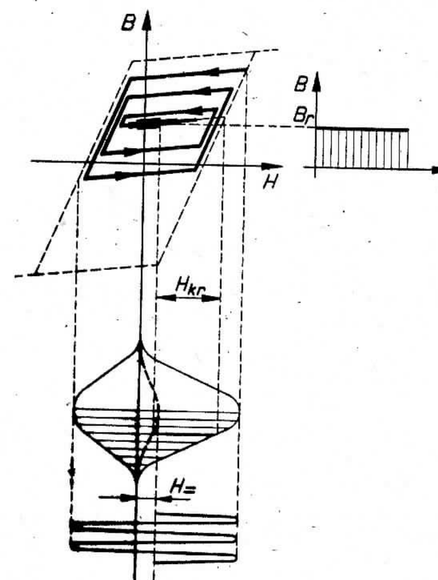
Sl. 53. Brisanje izmjeničnim poljem, pri kojem se tonski nosač prvo dovede do magnetskog zasićenja od bilo koje magnetske gustoće, a zatim se vrši demagnetiziranje po sve užim petljama do magnetske gustoće nula

Već je naglašeno da se brisanje može izvršiti samo ako je frekvencija struje brisanja dovoljno visoka. Naime, to će se dogoditi uz uvjet da prođe nekoliko ciklusa magnetiziranja dok neki dijelić vrpce prolazi rasporom za vrijeme silaznog dijela polja. Uzima se da za vrijeme silaznog dijela polja mora proći barem pet ciklusa. Praktički se koriste frekvencije 30 do 100 kHz, što je dovoljno da zadovolji gornji zahtjev pri dužini raspora od 0,2 do 0,5 mm.

Snimanje istosmjernog i tonfrekventnog signala

48. — Istosmjerni signal snima se uz pomoć visokofrekventne struje, kojoj se signal superponira. Proces se vidi na sl. 54. Zbog istosmjerne komponente struje zvonolika karakteristika magnetskog polja pred

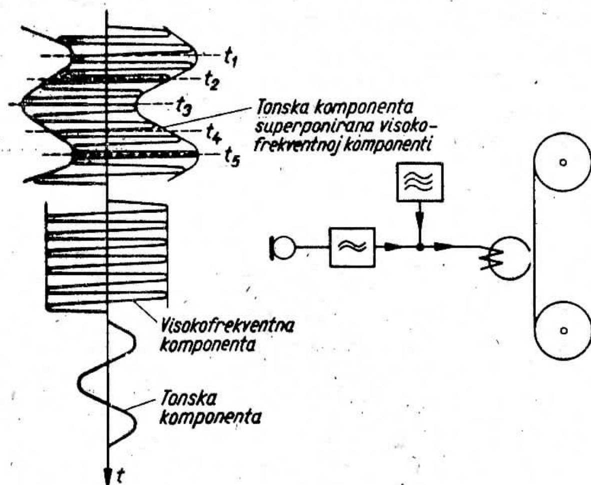
rasporom postaje nesimetrična, pa su sve petlje izmjeničnog magnetiziranja pomaknute unutar histerezne karakteristike u smjeru određenom istosmjernom komponentom. Kad se, pri izlaženju iz polja, smanji amplituda VF polja ispod vrijednosti H_{kr}, petlje magnetiziranja stegnu se u pravac, kojim je određena remanencija u vrpci. Uz veći istosmjerni signal bit će veća i remanencija, čime se postiglo snimanje signala na vrpcu.



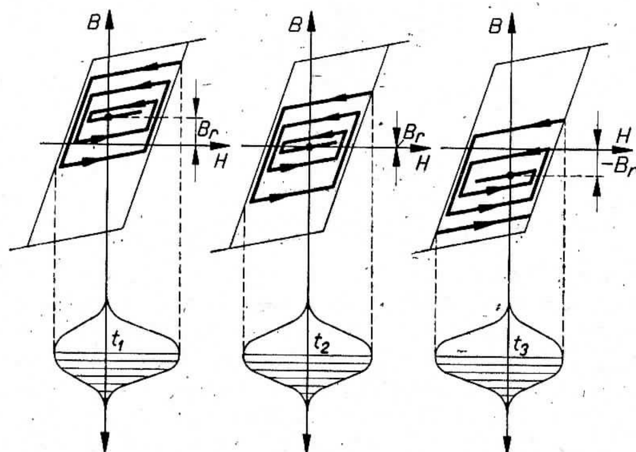
Sl. 54. Snimanje istosmjernog signala

49. — Snimanje nekog tonskog signala vrši se načinom prikazanim na sl. 55. i sl. 56. Tonska se komponenta jednostavno pridoda (superponira) VF komponenti. Čitav se proces sada može shvatiti tako, kao da u pojedinim kratkim vremenskim intervalima t_1, t_2, t_3 postoji istosmjerna veličina pridodana visokofrekventnoj, pa se ovisno od trenutnih vrijednosti te »istosmjerne« komponente odsnimava na vrpcu niz remanencija prema sl. 56. Kad je tonska komponenta jednaka nuli, vrpca je nemagnetična.

Iz karaktera snimanja pomoću visokofrekventnog predmagnetiziranja vidi se da visokofrekventna komponenta ima samo pomoćnu ulogu, tj. da privede neki signal u područje ravnog dijela dinamičke karakteristike. To snimanje signala vrši se u području silaznog dijela karakteristike polja pred rasporom, i to u momentu kad amplituda VF komponente postigne vrijednost H_{kr} (sl. 54).



Sl. 55. Snimanje tonfrekventnog signala vrši se superponiranjem tog signala visokofrekventnoj struji predmagnetiziranja



Sl. 56. U pojedinim momentima tonfrekventnog signala t_1, t_2 i t_3 vrši se usnimavanje niza remanencija uz pomoć visokofrekventnog polja

50. — Prednosti snimanja s visokofrekventnim predmagnetiziranjem pred onim s istosmjernim su u tome, što su šumovi manji u momentima kad nema signala, jer je tada tonski nosač magnetski posve neutralan. Osim toga se pri VF predmagnetiziranju može upotrijebiti

oko dva puta veći dio dinamičke karakteristike, pa to svojstvo u zajednici s manjim šumovima omogućuje postizavanje veće dinamike (do 60 dB).

51. — Međutim, i pri visokofrekventnom predmagnetiziranju postoji niz poteškoća i nedostataka. I ovdje se također javljaju iako u manjoj mjeri, harmonička izobličenja. Ona ovise od struje predmagnetiziranja i najmanja su za neku tačno određenu vrijednost struje (uz veću ili manju struju od te vrijednosti, izobličenje se povećava).

Zbog efekta raspora smanjuje se pri snimanju napon viših tonskih frekvencija. Naime, ako se jakost polja promijeni za vrijeme dok neki dio tonskog nosača prolazi kroz silazni dio polja (a ta je pojava sve očitija na višim frekvencijama), dobiva se manja amplituda magnetske gustoće nego uz nepromijenjeno polje. Slika te pojave je ista, kao da se dužina mehaničkog raspora povećava (odnosno strmina silaznog dijela polja smanjuje). U istom smislu djeluje i sve manja permeabilnost nosača u odnosu na permeabilnost glave za snimanje.

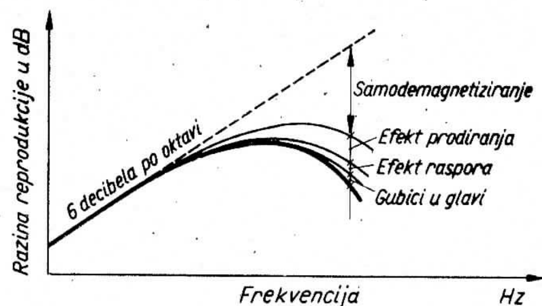
Slabljenje viših frekvencija slijedi i zbog samodemagnetiziranja, jer su tada usnimljeni magneti na tonski nosač sve kraći, a kod takvih sve laganije dolazi do razmagnetiziranja.

Efekt prodiranja također utječe na sniženje napona visokih frekvencija. Naime, dubina magnetiziranja sloja magnetskog materijala na tonskom nosaču ovisi od magnetske valne dužine. Kod većih valnih dužina dubina prodiranja je veća, i obratno. Kako se kod visokih frekvencija (malih magnetskih valnih dužina) gubi proporcionalnost između izlaznog napona i presjeka tonskog nosača (koja proporcionalnost postoji kod niskih frekvencija), dolazi do opadanja napona pri tim frekvencijama.

Osim toga napon viših tonskih frekvencija slabi zbog magnetske nehomogenosti materijala, zatim zbog nagiba raspora glave za reprodukciju, kao i zbog gubitaka snage u glavi za reprodukciju (gubici zbog histereze i vrtložnih struja).

U području prema niskim frekvencijama napon opada prema sl. 57. u vezi sa zakonom indukcije, po kojemu napon ovisi od frekvencije (odnosno brzina promjene magnetskog toka proporcionalna je frekvenciji). Ako je frekvencija dva puta niža, i napon će biti dva puta niži. Prema tome ova strmina iznosi 6 dB/oktavi.

Sl. 57. ujedno pokazuje udio pojedinih vrsta gubitaka na visokim frekvencijama. Ovdje se vidi frekventna karakteristika snimanja na tonskom nosaču. Da ne bi došlo do zapostavljanja i niskih i visokih frekvencija pri reprodukciji, treba izvršiti korekciju date karakteristike pomoću karakteristika pojačala za snimanje ili za reprodukciju (ili oba), koje nužno moraju imati suprotan tok ovisno od frekvencije, da rezultantna karakteristika bude horizontalna.



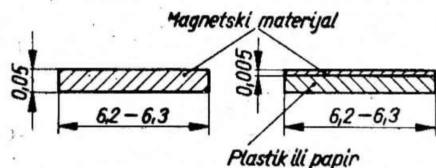
Sl. 57. Frekventna karakteristika snimanja na tonskom nosaču. Vidljiv je ujedno i udio pojedinih vrsti gubitaka pri visokim frekvencijama

Norme za tonske nosače

52. — Da bi se neki tonski nosač mogao jednakovrijedno upotrijebiti na raznim magnetofonima, nužno su uvedene međunarodne norme s obzirom na fizičke dimenzije, oblik i slično, kao i na fizikalne karakteristike. Danas se upotrebljavaju ovi oblici tonskog nosača: vrpca, žica, ploča, valjak i folija.

Vrpca

Najčešći oblik je vrpca, jer je najpogodnija za manipuliranje, i daje najbolju kvalitetu pri radu. Prema potrebi može se jednostavno rezati i lijepiti. Prema izvedbi postoje dvije vrste vrpce. Naime, magnetski materijal, koji je bitni sastavni element, može se ili nanijeti na savitljivu plastičnu traku u obliku tankog sloja, ili se može utisnuti zajedno s plastičnim materijalom u homogenu cjelinu (sl. 58).



Sl. 58. Dimenzije homogene i nehomogene vrpce

Magnetski materijal je po izgledu sitna prašina veličine zrna ispod jednog mikrona a po sastavu crveni (Fe_2O_3 — faza) ili crni (Fe_3O_4) oksid željeza. Koercitivna sila H_k ovakvog praška iznosi 100—500 ersteda, a efektivna remanencija magnetski izoliranih zrna u vrpci iznosi 300—700 gausa.

Prema veličini H_k vrpce se dijele na:

1. Vrpce s malom koercitivnom silom. Izrađuju ih tvrtke: »Kodak« (Francuska) i tvornica I. G. Farben (Njemačka; tip vrpce C, L, G i L). Upotrebljavaju se pri brzinama vrpce od 76 cm/s.

2. Vrpce sa srednjom koercitivnom silom. Ovamo spadaju njemačka vrpca »L-Extra«, francuska »Pyral A2« i američka »Scotch Tape 111 A«.

3. Vrpce s velikom koercitivnom silom. Poznata je američka vrpca »Hyflux«. Osjetljive su pri visokim frekvencijama. Brisati se mogu samo pomoću naročito izvedenih glava za brisanje, što s normalnima nije moguće.

Zahtjevi, koji se postavljaju na vrpce jesu slijedeći:

— vrpca se ne smije lako kidati niti rastezati;

— prekinuta vrpca mora se lako sastaviti i zalijepiti;

— vrpca ne smije da bude niti kruta niti »preživa«, površina treba da je naročito glatka;

— volumen vrpce za izvjesnu dužinu snimanja treba da je što manji;

— poželjna je koercitivna sila od 200—500 ersteda;

— remanencija treba da je što veća (uz veću remanenciju treba da je i koercitivna sila veća);

— magnetska i mehanička svojstva treba da budu ista kod istovrsnih vrpca i jednaka duž čitave vrpce; ne smiju se mijenjati zbog starenja, temperature i vlage; nužna je otpornost protiv trošenja i rđanja.

Međunarodne norme za vrpce

53. — Dogovorno su postavljene norme za brzinu i dimenzije vrpce, mjerne vrpce, zatim za prigušnu karakteristiku kanala za reprodukciju, te za veličinu snimljene razine.

1. *Brzina vrpce.* Opseg brzina razvrstan je u pet klasa brzine: 76, 38, 19, 9 i 5. Pri tome je najveća brzina 76,2 cm/s (30 palaca u sekundi), a svaka slijedeća je polovina prethodne.

2. *Dimenzije vrpce.* Širina vrpce iznosi 6,25 ± 0,05 mm (1/4″), a debljina mora da bude manja od 0,06 mm.

3. *Prigušna karakteristika kanala za reprodukciju.* Ova je karakteristika određena normiranjem karakteristike remanentnog magnetizma vrpce. Po međunarodnoj organizaciji CCIR (»Comité Consultatif International des Radiocommunications«) određeno je da karakteristika remanentnog magnetizma mora imati isti tok kao i karakteristika impedancije paralelne kombinacije *RC*-spoja, i to tako, da pri brzini 76 i 38 ima vremensku konstantu 35 µs, pri 19 ima 100 µs, a pri 9 i 5 ima 200 µs.

4. *Mjerna vrpca.* U svrhe mjerenja normirana je i odgovarajuća vrpca za brzine 76 i 38 sa slijedećim dijelovima:

a) dio sa snimljenom frekvencijom od 1 000 Hz pri normalnoj razini;

b) dio sa snimljenom frekvencijom od 10 kHz pri 10 dB nižom razinom od normalne, služi za ugađanje okomitosti raspora glave za reprodukciju;

c) dio sa snimljenim frekvencijama 30, 40, 60, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 8 000, 12 000 i 15 000 Hz pri razini 20 dB nižoj od normalne. Svaki ton traje 8 sekundi;

d) dio sa snimljenim kontinuiranim tonom od 30 Hz do 15 kHz pri razini za 20 dB nižoj od normalne;

e) označeni dio bez snimke, ali takve prigušne karakteristike da ova služi kao etalon pri ugađanju prigušne karakteristike kanala za snimanje.

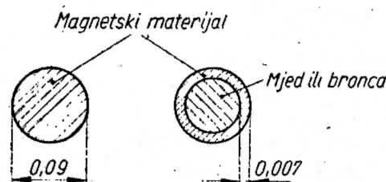
Postoje i mjerne vrpce za brzine 19 i 9. Kod prve je pri normalnoj razini snimljen ton od 330 Hz, a kod druge od 160 Hz; kod prve je za ugađanje okomitosti raspora snimljen ton od 8 kHz, kod druge od 6 kHz; nadalje su kod prve snimljene frekvencije u opsegu od 30—12 000 Hz, a kod druge od 30—8 000 Hz. Razine su iste kao i kod prve dvije brzine.

5. *Veličina snimljene razine.* Radi reprodukcije treba računati s nekom najvišom snimljenom razinom. Zato je za klasu 76 normirana magnetska razina od 100 milimaksvela, za klasu 38 razina od 200 milimaksvela i za preostale dvije klase 19 i 9 razina od 160 milimaksvela.

Žica

U odnosu na vrpcu i ostale tonske nosače, žica ima prednost da zauzima manji volumen. Iz dimenzija presjeka vrpce i žice vidi se, da žica zauzima 40 puta manju površinu presjeka od vrpce.

Žica se također može izvesti na dva načina (sl. 59). Po prvom je izvedena u obliku homogene žice od potrebnog magnetskog materijala (nerđajući čelik) promjera 0,1 mm. Po drugom načinu žica ima jezgru



Sl. 59. Dimenzije homogene i nehomogene žice

od nekog nemagnetičnog materijala, na koji je nanesen sloj magnetičnog materijala, debljine 7 mikrona. Kao magnetski materijal za vanjski sloj može poslužiti legura od 80% kobalta i 20% nikla.

Evo nekoliko naziva i podataka materijala za homogenu žicu:

— »Nerđajući čelik 420«. Pridodano mu je 12—14% Cr (H_k = 60 ersteda, B_r = 7 000 gausa).

— »Nerđajući čelik 18—8« sa 18% Cr i 8% Ni (H_k = 200—300 ersteda, B_r = 3 000 gausa).

— »Vicalloy«. Željezu je dodano 52% Co i 11% Va (H_k = 200 ersteda, B_r = 11 500 gausa).

— »Cunife« sadrži 60% Cu, 20% Ni, 20% Fe (H_k = 500 ersteda, B_r = 5 000 gausa).

Ploča, cilindar i folija

Ovi se tonski nosači rjeđe upotrebljavaju. Najviše služe kod uređaja za diktiranje, jer se na njima lako nađe neko važno mjesto, koje se želi ponoviti.

Pitanja

1. Nacrtaj krivulju ovisnosti magnetske gustoće o magnetskom polju. Pokaži na njoj na koji način dolazi do memoriranja nekog signala.
2. Kako izgledaju glave za snimanje, i koliko ih može biti kod magnetofonskog snimanja?
3. Kakav izgled ima magnetsko polje u okolini raspora, ako kroz svitak glave za snimanje teče istosmjerna struja?
4. Objasni postupak dobivanja dinamičke karakteristike.
5. Kako se vrši snimanje signala pomoću istosmjernog magnetiziranja (pokaži pomoću dinamičke karakteristike)?
6. Objasni postupak brisanja istosmjernim poljem.
7. Koji su nedostaci pri snimanju s istosmjernim predmagnetiziranjem?
8. Kako se vrši brisanje izmjeničnim poljem? Koja se frekvencija pri tom koristi?
9. Objasni snimanje istosmjernog i tonfrekventnog signala pri visokofrekventnom predmagnetiziranju.
10. Koje su prednosti snimanja s visokofrekventnim predmagnetiziranjem?
11. Nacrtaj frekventnu karakteristiku snimanja na tonskom nosaču i nabroji uzroke opadanja napona visokih i niskih frekvencija.
12. Koji se tonski nosači praktički upotrebljavaju?
13. Koje su prednosti vrpce pred ostalim tonskim nosačima?
14. Kakva je mjerna vrpca?

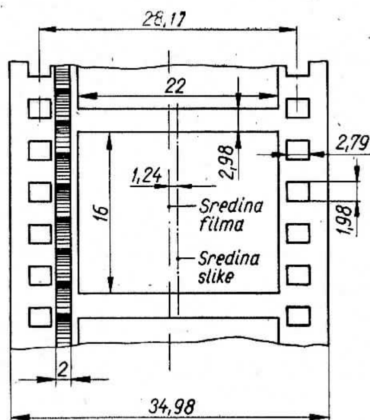
Filmsko snimanje zvuka

Uvod

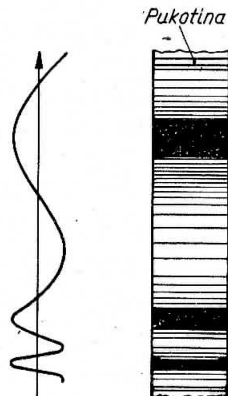
54. — Jedan od rjeđih načina snimanja zvuka jest optičko snimanje. Ono se zbog raznih poteškoća (razvijanje filma) održalo jedino kod igranog filma, gdje se na taj način može zbivanje na filmu sinhrono pratiti tonskim sadržajem. Na taj se način snimanja na filmsku traku snimaju uz slike i tonske komponente. Sl. 60. prikazuje izgled same trake sa svim normiranim dimenzijama. Ovdje je važno uočiti, da se između niza slika i perforacija za pokretanje trake nalazi jedna pruga na koju se vrši snimanje tona. Postoji nekoliko načina snimanja, no najvažniji su intenzitetni, longitudinalni i transverzalni (zupčasti).

Intenzitetno snimanje

Kod ovog se načina odgovarajućim postupkom mijenja jačina svjetla, koje pada kroz usku pukotinu na filmsku traku. To se može izvesti tako, da se tonfrekventna struja šalje kroz tinjalicu, čiji se intenzitet svijetljenja mijenja u ritmu struje. Kako se traka promjenljivo osvjetljuje, to se dobiva i odgovarajuća snimka (sl. 61).

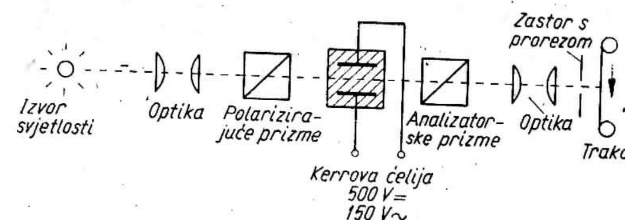


Sl. 60. Dimenzije filmske trake (u milimetrima)



Sl. 61. Snimanje intenzitetnim postupkom

Isto se snimanje može vršiti i postupkom s Kerrovom ćelijom (sl. 62). Svjetlo iz izvora prolazi preko optike kroz polarizirajuće prizme, čime ono postaje polarizirano samo u jednoj ravnini. Dalje slijedi Kerrova ćelija. To je kondenzator uronjen u nitrobenzol, na čije se ploče dovodi istosmjerni napon od 500 V i njemu superponirani tonfrekventni

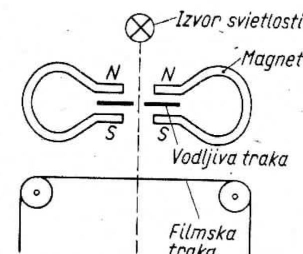


Sl. 62. Intenzitetni postupak snimanja s Kerrovom ćelijom

napon od kojih 150 V. U ćeliji se proporcionalno veličini i smjeru dovedenog napona zaokreće ravnina polarizacije snopa svjetlosti. Analizator propušta jače ili slabije svjetlo dalje na traku. Naime, kroz njega će proći jače svjetlo ukoliko je kut između ravnine polarizacije analizatora (koji inače propušta svjetlo samo određene polarizacije) i zaokrenute ravnine polarizacije svjetlosnog snopa iza Kerrove ćelije — manji. Obratno, čim je navedeni kut veći intenzitet propuštanja svjetlosti je manji. Izlaznim sistemom optike i uskog proreza postiže se potrebna oštrina usmjernog snopa svjetlosti na filmsku traku.

Longitudinalni postupak

Kod ovog načina snimanja mijenja se količina svjetlosti mijenjanjem širine pukotine, kroz koju snop pada na filmsku traku (sl. 63). U polju dvaju magneta nalaze se dvije električki vodljive trake, kroz koje prolazi tonfrekventna struja. Trake se ili privlače ili odbijaju, (ovisno od smjera struja u njima), čime više ili manje prepriječuju put svjetlosnom snopu.

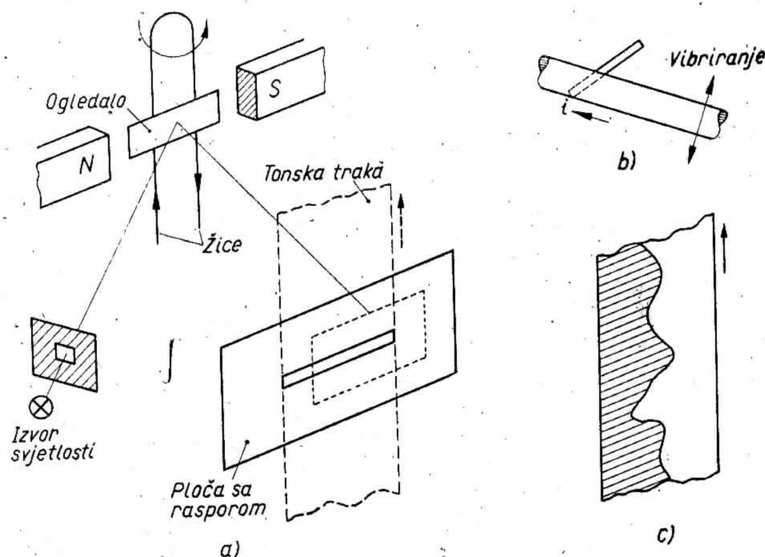


Sl. 63. Snimanje longitudinalnim postupkom

Transverzalno (zupčasto) snimanje

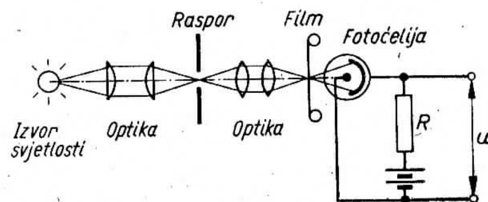
Kod ove vrste snimanja mijenja se u ritmu tonfrekventne struje dužina raspora, kroz koji prolazi svjetlost stalnog intenziteta. Sl. 64. *a* i *b* prikazuju dva načina snimanja. Kod prvog ogledalo baca svjetlosni

snop na raspor, koji je više ili manje osvijetljen pri većem ili manjem zakretanju ogledala. Ogledalo titra u ritmu tonfrekventne struje, koja teče kroz dvije žice u polju magneta. Na sl. 64 *b* sâm vodič, koji titra, zaslanja veći ili manji dio raspora. Izgled snimljene slike prikazuje sl. 64 *c*.



Sl. 64. Dva načina snimanja transverzalnim postupkom (a i b). Izgled snimljene slike (c)

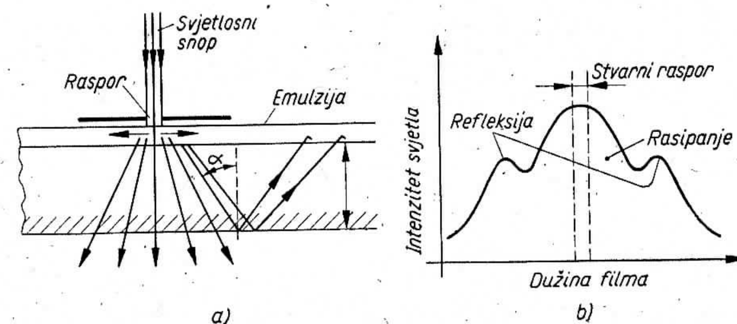
55. — Reprodukcija kod sva tri postupka vrši se pomoću fotoćelije (sl. 65). Pri jačem osvjetljenju fotoćelije dolazi do veće struje u krugu. Navedene promjene struje odvode se, u obliku naponskih promjena na otporniku *R*, na ulaz pojačala za reprodukciju. Izvor svjetlosti je sijalica napajana istosmjernom strujom, radi uklanjanja brujanja (kod napajanja izmjeničnom strujom nastaje brujanje uslijed male toplotne inercije žarne niti).



Sl. 65. Reprodukcija pomoću fotoćelije

Izobličenja

Pri reprodukciji mogu se pojaviti raznovrsna izobličenja. Npr. pri transverzalnom (zupčastom) snimanju dolazi do efekta raspora. Naime, karakteristika stvarnog raspora nema oblik karakteristike fizički izvedenog raspora. Zbog disperzije (rasipanja) svjetla nema oštre granice između svijetle i tamne površine, nego postoji izvjestan polutamni dio. Na taj je način efektivna širina raspora veća. Sl. 66 prikazuje udio



Sl. 66. Rasipanjem i refleksijom svjetlosnih zraka nastaje proširenje karakteristike raspora

raznih uzroka na to proširenje. Naime, iza fizičkog raspora nastaje disperzija svjetlosnog snopa kroz sloj emulzije i filma (prošireni vršni dio karakteristike). Nadalje, kad kut otklonjenih svjetlosnih zraka dostigne izvjesnu vrijednost *a*, ili veću od nje, nastaje totalna refleksija na donjoj površini filma. Odbijene zrake izazivaju prelazno sivilo između tamne i svijetle površine. Utjecaj ovog faktora vidi se na sl. 66. *b* u obliku daljnjeg proširenja i uzvišenja karakteristike raspora. Ova polutamna površina dovodi do šumova i nelinearnih izobličenja pri reprodukciji.

57. — Daljnji uzrok izobličenjima može biti koso smješten raspor (sl. 67). Pri intenzitetnom snimanju to dovodi do linearnog izobličenja (smanjuju se amplitude signala), dok pri zupčastom nastaje nelinearno (sl. 67. *b*). Ova se smetnja opaža već pri nagibima raspora od 0,1 °. Stoga je neobično važno da se raspor postavi tačno okomito na smjer gibanja trake.



Sl. 67. Koso smješten raspor (a) pri transverzalnom postupku dovodi do nelinearnog izobličenja u reproduciranom signalu (b)

58. — Pri reprodukciji javljaju se i šumovi. Uzroci su im uglavnom nehomogenost materijala (emulzije i filma), kao i duža upotreba trake (habanje). Najmanje šumova daju tamne površine, nešto veće svijetle površine, dok polutamna mjesta na filmu izazivaju najveće šumove.

Pitanja

1. Gdje se uglavnom održalo optičko snimanje zvuka?
2. Koji su glavni postupci filmskog snimanja zvuka?
3. Kako se vrši intenzitetno snimanje?
4. Što je to Kerrova ćelija?
5. Kako se izvodi longitudinalni postupak snimanja?
6. Kako se mijenja širina pukotine kod transverzalnog postupka?
7. Koja izobličenja mogu nastupiti pri reprodukciji?
8. U čemu su uzroci šumova?

Stereofonija

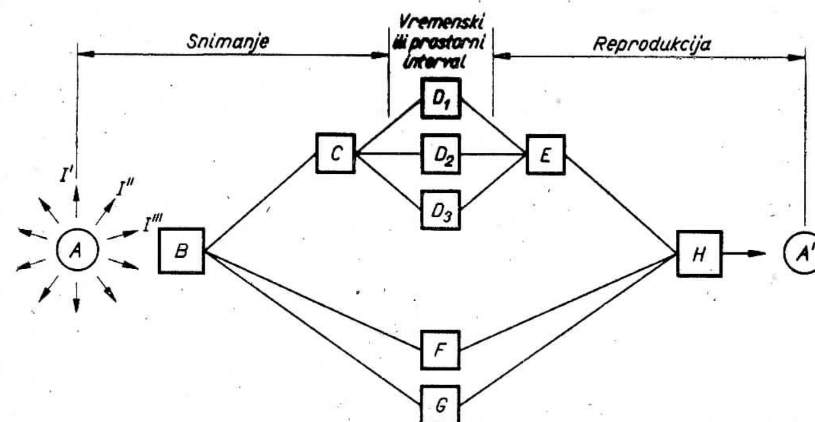
Uvod

59. — Oduvijek se pri reprodukciji muzike nastojala postići što vjernija kopija originalne zvučne slike. Toj želji, međutim, nije bilo moguće potpuno udovoljiti u vrijeme kad još uređaji, koji su pri prenosu sudjelovali, nisu bili tehnički dovoljno usavršeni. Stoga se u posljednja dva decenija posvećuje sve veća pažnja poboljšanju kvalitete prenosnih uređaja. Na taj se način i razvila dobro poznata Hi-Fi-tehnika (High-Fidelity: visoka vjernost), koja je usmjerila čitav razvoj u pravcu proširenja prema donjem i gornjem području čujnih frekvencija. Tako se mogu prenijeti i najviši nadvalovi važni za očuvanje izvornih karakteristika nekog zvuka.

Međutim, i ovako kvalitetna reprodukcija nije bila vjerna u svakom pogledu. Naime, pri slušanju originalne orkestralne izvedbe, čovjek može već samim slušanjem odrediti smjer odakle dolazi zvuk pojedinog instrumenta. No pri reprodukciji ovakove izvedbe, ta se prostornost gubi u slučaju jednokanalnog prenosa, pa iako je sâm sistem i najbolje kvalitete. Utisak prostornosti moguće je postići samo jednom novom tehnikom-stereofonskim višekanalnim prenosom. Radi razlikovanja jednokanalnog i višekanalnog prenosa treba prije razmotriti.

Jednokanalni prenosni lanac

60. — Sl. 68. prikazuje blok-shemu uobičajenog jednokanalnog prenosa s odgovarajućim elementima. Element A predstavlja originalnu zvučnu sliku s nizom akustičkih informacija (I). Iza toga se vrši pretvaranje akustičkih informacija u električke (B). Ove se pak mogu prenijeti na razne načine (vremenski ili prostorni interval), odnosno uskladištiti nizom elemenata, čiji broj može biti raznolik. Elementom C vrši



Sl. 68. Elementi jednokanalnog prenosa

se registriranje električkih informacija fotografski, mehanički ili magnetski.

Zvuk se može uskladištiti (vremenski interval) na odgovarajućem nosaču (filmska traka — D_1, gramofonska ploča — D_2, magnetofonska vrpca — D_3).

Elektroakustički prenos, pri kojem postoji samo prostorni razmak između originalne i reproducirane zvučne slike, može se vršiti ili radijem (F) ili žičnim vezama (G). Konačno pretvaranje električkih informacija u akustičke vrši se u posljednjem elementu prenosnog sistema (H), da se dobije reproducirana zvučna slika (A').

61. — Iz poznavanja karakteristika pojedinih elemenata u prenosnom sistemu, kao i zahtjeva koji se na njih postavljaju pri kvalitetnoj reprodukciji, može se zaključiti da je koja od karika lanca eventualno slabija. No što se tiče širine pojasa prenošenih frekvencija može se ustvrditi, da svi od navedenih uređaja mogu danas zadovoljiti zahtjevima. Također, i s obzirom na izobličenje, dobar prenos tranzijenata, neprimjetni fazni pomak, suvremeni visokokvalitetni uređaji odgovaraju svrsi.

Međutim, jednokanalni sistem prenosa ipak ima i svoje nedostatke. Rezultati ispitivanja pokazuju da vjeran prenos originalne zvučne slike vrlo kvalitetnim jednokanalnim prenosnim sistemom ne mora da bude ujedno i ugodan slušaocima. Chinnova i Eisenbergova ispitivanja takvog sistema pokazala su, da je najugodniji bio onaj prenos, pri kojem se prenosio srednje širok, a ne čitav pojas zvučnih frekvencija. Uzrok nije bio eventualno unošenje izobličenja mjernim sistemom uređaja, jer su ovi unosili izobličenja manja od 0,5%. Prije će izvjestan utjecaj imati nepovoljniji omjer signal/šum kod šireg pojasa frekvencija. Kako

je šum jednoliko raspodijeljen u čitavom čujnom području, a razina muzike opada prema višim frekvencijama, to je omjer signal/šum povoljniji kod užeg pojasa frekvencija.

Slična je ispitivanja vršio i Olson, ali ne preko nekog prenosnog sistema elektronskih uređaja, nego su se i izvađači i slušaoci nalazili u jednoj prostoriji, odijeljeni samo zavjesom, iza koje su se postavljali za slušaoce nevidljivi akustički filtri. Filtrima se po volji sužavalo ili proširivalo područje propuštanih frekvencija. Rezultat je posve suprotan od Chinnova i Eisenbergova pokusa. Slušaoci su se opredijelili za prenos što šireg pojasa frekvencija. Ovi rezultati nastali su vjerojatno zbog raznih prenosnih sistema, pri jednom i drugom ispitivanju. Naime, pri neposrednom slušanju moguće je osjetiti položaj svakog izvora zvuka, budući da su ovi u određenom prostornom odnosu. Međutim, jednokanalnim prenosom gubi se prostorna raspodjela zvučnog polja, koje se pri reprodukciji pretvara u tačkasti izvor. Svaki jednokanalni prenos ima osobine čovjekova slušanja s jednim uhom (monoauralno). No, kako je čovjek naučen slušati s dva uha (binauralno) — zbog čega i dolazi do osjećaja prostornosti pri slušanju (slično kao što i osjećaj treće dimenzije omogućuje gledanje tek s dva oka) — ne može se zadovoljiti monoauralnim slušanjem, ma kako je ovo kvalitetno bilo izvedeno.

Karakteristike stereofonskog prenosa

62. — Mogućnost određivanja položaja izvora zvuka bitno je svojstvo stereofonskog prenosa. Međutim, određivanje smjera zvuka pojedinog instrumenta u nekom ansamblu nije samo sebi svrhom pri ovakvom prenosu nego ta mogućnost predstavlja sredstvo za postizavanje glavnog cilja — bolje kvalitete izvedbe zbog jasnoće reprodukcije.

Ljudski sluh ima povećanu osjetljivost u nekom određenom smjeru. Normalno se s najvećim intenzitetom čuje izvor zvuka u smjeru gledanja, gdje osjetljivost može da bude za 10 — 15 decibela veća nego pod drugim kutovima. Prema tome, ako se uspije lokalizirati neki izvor, i ako se tada usmjeri petlja maksimalne osjetljivosti prema izvoru, može se u tom smjeru postići i veća osjetljivost, čime se znatno poboljšava omjer signal/smetnja (pri tom se zvuk iz odabranog smjera smatra signalom, a ostali zvukovi smetnjama).

Interesantne su mogućnosti slušanja pri stereofonskom prenosu. Kod prenosa istovremenog razgovora dviju osoba, koje sjede za istim stolom i nevezano istovremeno razgovaraju s trećim licima, moguće se koncentrirati posebno na jednu ili drugu osobu i pratiti posebno jedan ili drugi razgovor. Te mogućnosti nema u jednokanalnom prenosu, jer bi nastalo maskiranje glasova. Daljnji su primjeri igranje stolnog tenisa ili prolaz vozila. Često se možda lokaliziranje izvora i ne opaža tako, ali zbog jasnoće reprodukcije ili zbog ugodnog ugođaja stereofonski je prenos u prednosti prema jednokanalnom.

63. — Pri stereofonskom prenosu nekog tačkastog izvora zvuka također se dobiva ugodniji utisak nego pri jednokanalnom prenosu. Razlog tome je što jednokanalni prenos povećava odjek prostorije, u kojoj se snima, jer se ne može razlikovati direktni od reflektiranog zvuka. Pri stereofonskom prenosu reproduciraju se sa zvukom i karakteristike prostorije, odnosno akustička atmosfera koja okružuje izvor zvuka.

64. — Nedostaci stereofonskog prenosa spadaju pretežno u grupu ekonomskih poteškoća. Budući da je prenos dvokanalni, a neki elementi prenosnog sistema moraju biti kvalitetniji, to je čitav sistem skuplji. I reprodukcija je bolja u većim prostorijama. Uglavnom reprodukcija traži prostoriju sličnu po akustičkim svojstvima prostoriji gdje se vršilo snimanje zbog adekvatnijeg prenošenja akustičke atmosfere pri snimanju.

Stereofonsko snimanje

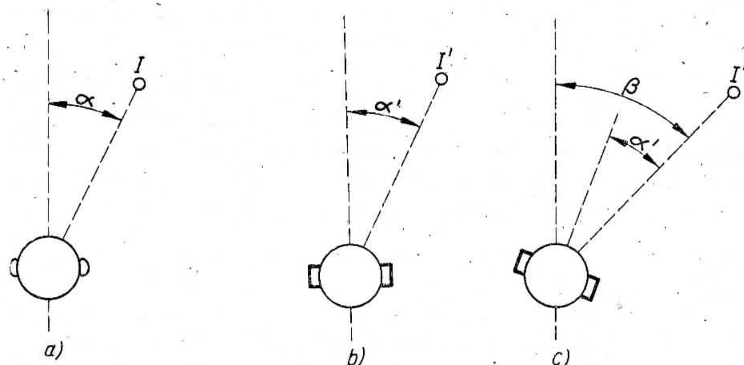
65. — Plastičnost nekog muzičkog prenosa može se postići ako se samo snimanje vrši na sličan način na koji nastaje i prostorna percepcija originalnog čovjekovog slušanja pomoću dvaju prijemnih organa. Budući da se utisak prostornog razmještaja, pojedinih izvora zvuka dobiva slušanjem s dva uha, u kojima dolazi do razlike intenziteta, faze i boje dolazećih zvukova, to se nameće sama po sebi potreba snimanja s dva mikrofona. Tako je došlo do postupka pod nazivom

Snimanje s »umjetnom glavom«

66. — Na kuglu veličine glave postave se dva mikrofona na istu udaljenost kao što je udaljenost između ušiju. Od lijevog mikrofona mora se posebnim kanalom dovoditi zvuk do lijeve slušalice slušaoca, a posebnim do desne (kopija prirodnog slušanja). Na taj način stvara se iluzija kao da se sjedi negdje pred orkestrom. Iako ovaj način prenosa zadovoljava, ipak nije praktičan za upotrebu (upotreba slušalica). Nedostatak ovakvog prenosa vidi se iz slijedećih razmatranja (sl. 69). Izvor zvuka I nalazi se pod upadnim kutom α prema simetrali slušanja umjetne glave (sl. 69. *a*). Dok se slušalac ne okreće, dobit će utisak smjera zvuka jednak originalnom (sl. 69. *b*). No ako okrene glavu, tada će, zbog čvrste veze slušalaca s glavom, slika izvora I' zadržati upadni kut α prema svojoj simetrali slušanja (simetrali glave), ali će se u odnosu na prostoriju povećati kut upada izvora na vrijednost β (sl. 69. *c*). Ta je činjenica vrlo nezgodna, naročito ako se istovremeno promatra i film. U tom slučaju pretvaraju se nepokretni izvori zvuka u pokretne. Ova promjena položaja ovisi od veličine zakreta glave.

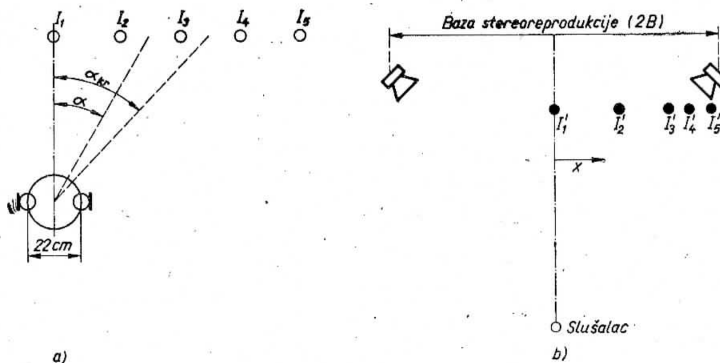
67. — Reprodukcija se umjesto slušalicama može vršiti i pomoću dva zvučnika, postavljena na nekoj udaljenosti ispred slušalaca. Kod ovog načina položaj reproduciranog zvučnog izvora I' ovisi od upadnog kuta zvuka, ali samo do izvjesne vrijednosti tog kuta. Osim toga

ovisi od dimenzija glave. Za određenu veličinu umjetne glave postoji jedna vrijednost kuta upada, iznad koje slika reproduciranog zvučnog izvora ima sjedište u samom zvučniku, a ne negdje na spojnici među zvučnicima kao što je to slučaj kod manjih upadnih kutova od ovog



Sl. 69. Ako slušalac miruje (b) dobije utisak smjera izvora zvuka jednakog izvornom (a). No ako zakrene glavu za kut β—α, tada dobije utisak povećanog kuta upada zvuka (c)

kritičnog (α_{kr} na sl. 70). Na taj način dolazi do zbijanja dijela zvučne slike, što stvara neprirodan osjećaj. Uz manji promjer umjetne glave, kritični je kut upada veći, pa je to povoljnije (veća se širina zvučne slike može prenijeti, a da ne dođe do njena zbijanja).



Sl. 70. Položaj reproduciranog zvučnog izvora I' ovisi o upadnom kutu izvora zvuka samo do izvjesne vrijednosti α_{kr}. Kod većih upadnih kutova dolazi do zbijanja reproducirane zvučne slike duž baze stereoreprodukcije

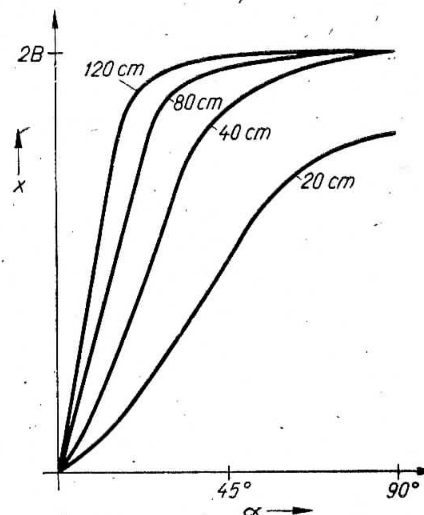
Nedostatak je snimanja umjetnom glavom, uz već navedene poteškoće, da se ugodan stereofonski dojam postiže uglavnom uzduž simetrale među zvučnicima, a ne u čitavom prostoru pred njima. Da se taj nedostatak izbjegne, postoje i drugi postupci stereofonskog snimanja.

AB-stereofonija

68. — Snimanje nekog zvučnog polja ovim postupkom (AB : Abstand — razmak) vrši se na taj način, da se postave dva mikrofona na izvjesnom razmaku u zvučnom polju. Razmak može varirati od promjera umjetne glave pa sve do ukupne širine zvučne slike. Ovim načinom snimanja postiže se stereofonski ugođaj na temelju i intenzitetnih i vremenskih razlika zvukova u pojedinom mikrofonu, za razliku od postupka snimanja s »umjetnom glavom«, gdje su uglavnom važne intenzitetne razlike.

I ovdje postoji kritični kut upada, iznad kojega dolazi do prostornog izobličenja reproducirane zvučne slike uzduž baze stereoreprodukcije (djelomično zbijanje zvučne slike kao na sl. 70). Taj kut ovisi od dvije veličine — od razmaka mikrofona i od udaljenosti izvora zvuka od linije koja spaja mikrofone.

Prema ispitivanjima K. de Boera dobivene su ovisnosti pomaka zvučnog izvora (x na sl. 70) o upadnom kutu izvora (α) pri raznim razmacima mikrofona (sl. 71). Pri određenom razmaku mikrofona pomak x

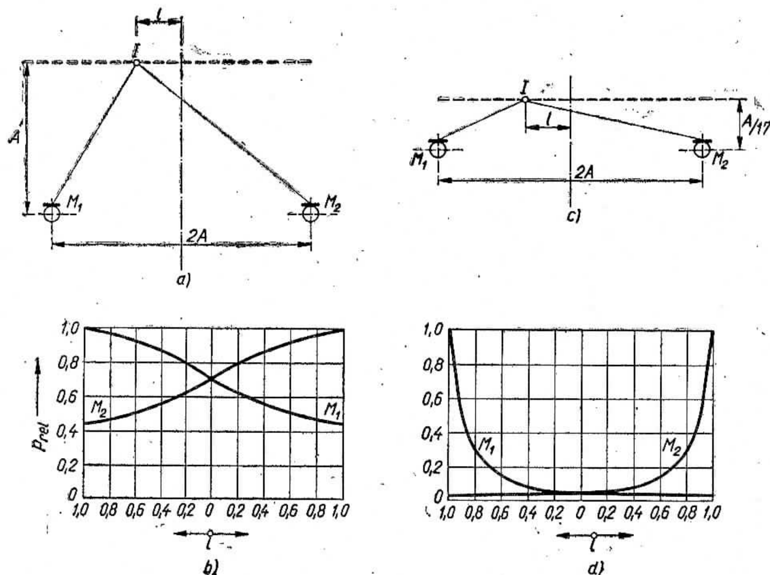


Sl. 71. Ovisnost pomaka reproduciranog zvučnog izvora o upadnom kutu izvora zvuka α. Razmaci mikrofona su 20, 40, 80 i 120 cm

je linearno proporcionalan kutu upada, ali samo do neke izvjesne vrijednosti — do kritičnog kuta, kada krivulja dobiva koljeno i prelazi u horizontalni dio (nastaje zbijanje zvučne slike). Promatrajući sve veće razmake mikrofona, zaključujemo da kritični kut upada teži prema sve manjim vrijednostima. Znači da se može pri snimanju obuhvatiti sve manji kut, do kojega još ne dolazi u obzir pojava zbijanja zvučne slike.

Primjer 1: Pri razmaku mikrofona 20 cm, snimanje kutova upada i preko 45° ne dovodi do izobličenja zvučne slike na bazi stereoreprodukcije, dok je pri razmaku od 80 cm zvučna slika već vrlo izobličena kod kuta od 45°.

69. — Utjecaj udaljenosti izvora zvuka od spojnice mikrofona na kritični kut, može se promatrati mjerenjem relativnog zvučnog tlaka p_{rel}, u odnosu na tlak kad je mikrofon neposredno pred izvorom. Pri raznim udaljenostima izvora zvuka od simetrale među mikrofonima (l) i za dvije udaljenosti izvora od spojnice mikrofona (A i $A/17$) dobivene su vrijednosti tlaka p_{rel} prema sl. 72. Budući da su na sl. 72. *b* krivulje tlakova za mikrofone M_1 i M_2 približno linearne, pretpostavlja se da će prikazane razlike intenziteta u lijevom i desnom mikrofonu proizvesti

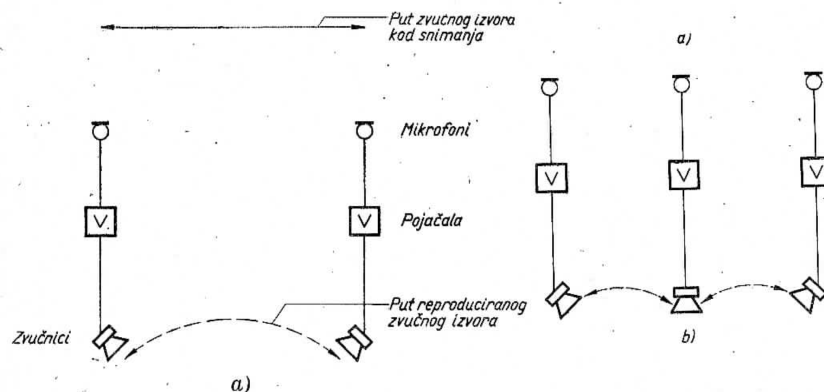


Sl. 72. Utjecaj udaljenosti A i A/17, kao i razmaka l na prostornu izobličenost zvučne slike. Kod udaljenosti izvora zvuka od spojnice mikrofona A, ne dolazi do izobličenja zvučne slike kod svih vrijednosti razmaka l. No pri smanjenju udaljenosti na A/17 dolazi do izobličenja kod većih vrijednosti razmaka l od otprilike 0,5

samo osjećaj zvučne prostornosti, i to neizobličene prostornosti. Naprotiv, uz smanjeni razmak na vrijednost $A/17$ (sl. 72. *c*) i pri udaljenostima l većim od otprilike 0,5 (sl. 72. *d*), nastupit će izobličenje reproducirane zvučne slike u obliku zbijenosti kao na sl. 70. *b*.

Poznavajući gore opisane zakonitosti, moguće je variranjem, bilo razmaka među mikrofonima bilo udaljenosti mikrofona od izvora, postići željene stereofonske efekte. Jedna i druga veličina međusobno je ovisna, i obje su u vezi s kritičnim kutom upada, jer povećanje udaljenosti izvora od mikrofona ima istovjetan efekt na kritični kut kao i smanjenje razmaka među mikrofonima.

70. — Nedostaci AB-stereofonije pokazuju se u izobličenju zvučne slike po dubini prostora. Naime, prolaz nekog zvučnog izvora putem kao na sl. 73. *a*, izazvat će u reproduciranoj zvučnoj slici putanju naznačenu crtkanom linijom. Pri većem razmaku mikrofona pojava je izrazitija. Objašnjenje daje smanjena ukupna glasnoća, koju tada primaju oba mikrofona, pa se dobiva utisak udaljavanja izvora. Većim brojem kanala smanjuje se ovaj nedostatak.



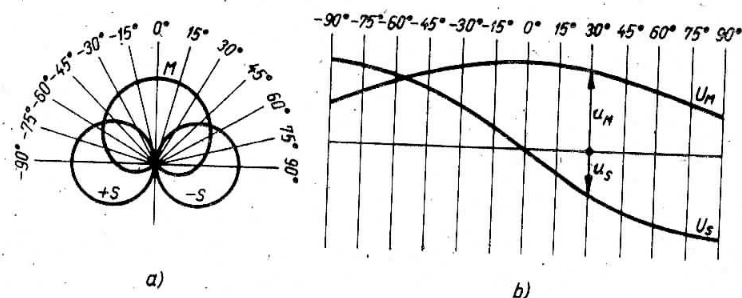
Sl. 73. Izobličenje zvučne slike po dubini prostora pri pravocrtnom kretanju izvora.

Daljnji nedostatak je što AB-stereofonija nije kompatibilna. Pod kompatibilnošću smatra se da se stereofonska snimka može reproducirati i pomoću jednokanalnog prenosa. No to ovdje nije moguće, jer bi nedostajao dio originalne zvučne slike.

MS-stereofonija

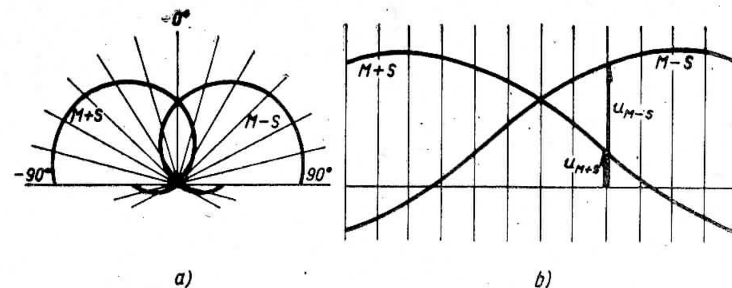
71. — Ova vrsta stereofonije (M-Mitte, S-Seite) čista je intenzitetna stereofonija, za razliku od AB-stereofonije, gdje se položaj zvučnog izvora određivao na temelju i intenzitetnih i vremenskih razlika u oba mikrofona, odnosno stereofonije s »umjetnom glavom«, gdje je pak

prevladavao utjecaj intenzitetnih razlika nad vremenskim (jer su mikrofoni mnogo bliže nego kod AB-stereofonije). Kod MS-stereofonije postave se oba mikrofona jedan tik do drugoga. U ovom slučaju izgleda da ne postoje razlike intenziteta i vremena. Međutim, nije tako, jer se pri tom traži da mikrofoni imaju različite usmjerne karakteristike, čime se upravo postižu poželjne razlike intenziteta. Ovaj je postupak uveo Lauridsen. Upotrijebio je jedan mikrofon s bubrežastom usmjernom karakteristikom i drugi s osmičastom (sl. 74. *a*). Mikrofon *M* daje informaciju o tonskom sadržaju zvučne slike (bubrežasti), dok *S* mikrofon o smjeru zvučnih izvora (osmičasti). Budući da interesantni kutovi pri snimanju ulaze unutar područja — 90° i + 90°, to su u sl. 74. *b*. prikazani naponi jednog i drugog mikrofona samo za to područje.



Sl. 74. Usmjerene karakteristike dvaju mikrofona za snimanje po MS- postupku (a). Napon jednog i drugog mikrofona u pravokutnom koordinatnom sistemu (b) prikazani su samo za interesantno područje od —90° do +90°

Zbog stereofonskog efekta moraju se nad informacijama, koje daju mikrofoni, izvršiti neke operacije. Potrebno je na neki način izvesti zbrajanje i odbijanje dobivenih informacija. Ako se jedna informacija nazove *M*, a druga *S*, tada će dvije novonastale kombinacije biti *M*+*S* i *M*—*S*. Obje prikazuje sl. 75, u polarnom i pravokutnom koordinatnom sistemu. Informacije *M* i *S* odvode se do dva posebna zvučnika preko člana za dobivanje njihova zbroja i razlike (sl. 76). Sâm pretvarač može da bude smješten bilo uz mikrofone, bilo uz zvučnike. To je mosni spoj, kojemu se na dva otpornika R_1 i R_2 dovode naponi iz oba mikrofona *M* i *S*, i u obliku zbroja dovode do lijevog zvučnika (informacija *M*+*S*) — *L*. Na drugoj kombinaciji otpornika R_2 i R_1 stvara se razlika napona iz mikrofona, i odvodi desnom zvučniku (informacija *M*—*S*) — *D*. Ako se npr. zvučni izvor nalazi pod kutom od +30° prema mikrofonima, tada će veličine napona u mikrofonima *M* i *S* biti one nazna-



Sl. 75. Zbrajanje i odbijanje informacija iz mikrofona M. i S. Naponi su prikazani u polarnom (a) i pravokutnom (b) koordinatnom sistemu

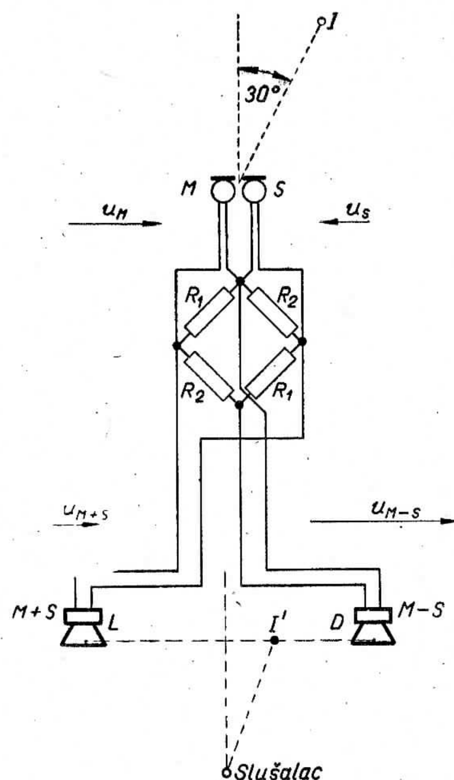
čene u sl. 74. *b* (također U_M i U_S na sl. 76). Nakon izvršene pretvorbe u informacije *M*+*S* i *M*—*S*, odgovarajući naponi zbroja i razlike imat će veličine naznačene u sl. 75. *b* (također U_{M+S} i U_{M-S} na sl. 76). Kako je u desnom zvučniku (*D*) jači intenzitet nego u lijevom (*L*), položaj reproduciranog zvučnog izvora biti će nadesno od simetrale baze stereoreprodukcije.

72. — Ova vrst stereofonije ima svojstvo kompatibilnosti. Ako se informacija, što je daje mikrofon s bubrežastom karakteristikom, iskoristi u svrhu jednokanalnog prenosa, moguće je prenos izvršiti istom kvalitetom kao pri uobičajenom jednokanalnom prenosu. Međutim, samo odvajanje potrebne informacije radi jednokanalnog prenosa, treba izvesti prije pretvaračkog elementa.

73. — Kod ove vrste stereofonije moguće je mijenjanje širine baze stereoreprodukcije. To se vrši promjenom pojačanja *S*-kanala. Reproducirana zvučna slika može imati manji ili veći raspon. Smanjivanjem pojačanja u *S*-kanalu dobiva se sužavanje zvučne slike, a povećanjem — proširenje.

74. — Radi postizavanja dobrog stereofonskog snimanja pretpostavljena su neka svojstva elemenata za snimanje. Tako se npr. kod mikrofona traži jednakost frekventnih i faznih karakteristika. Poteškoće mogu nastati što od mikrofona do mikrofona postoje rezonantna nadvišenja kod raznih frekvencija. Zato su poželjni kondenzatorski mikrofoni kod kojih se ta pojava ne vidi. Osim toga, kod ovih mikrofona, ako su izvedeni kao tlačno-gradijentni (dva sistema), mogu se mijenjati usmjerne karakteristike promjenom polariteta i veličine istosmjernog napona. Tako se mogu postići od bubrežaste karakteristike, preko raznih međuoblika, i osmičasta i kuglasta karakteristika.

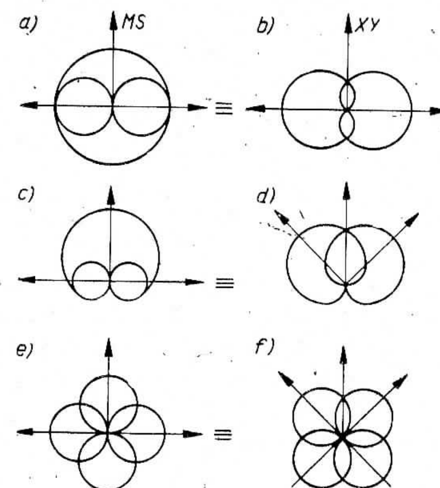
Osim toga, među kanalima ne smiju se pojaviti preslušavanja.



Sl. 76. Pretvaranje informacija M i S mikrofona u informacije zbroja i razlike M + S i M — S

XY-postupak

75. — Osim MS-postupka stereosnimanja moguće je vršiti XY-snimanje. Oba su postupka međusobno na izvjestan način povezana. Za MS-postupak moguće je iskoristiti kombinacije mikrofona s raznim usmjernim karakteristikama (sl. 77). Sl. 77. daje uz ove kombinacije i ekvivalentne kombinacije za XY-postupak snimanja. U lijevom stupcu stoje MS-sistemi, a u desnom XY-sistemi. Dok prvi postupak snimanja daje potpunu stereo-informaciju o tonskom sadržaju i usmjerenosti zvučne slike, dotle XY-sistem daje također potpunu informaciju o lijevo-desnoj usmjerenosti. Pri usporedbi jednog i drugog stupca uvijek stoje u istom redu takvi sistemi, koji se mogu pretvoriti jedni u druge jednostavnim zbrajanjem i oduzimanjem. Naime, vektorska suma i diferencija MS-informacije daje XY-informaciju, i obratno. Suma kuglaste i osmičaste karakteristike daje lijevo orijentiranu bubrežastu karakteristiku, a diferencija — desno orijentiranu (sl. 77. *a* i *b*). Obratno, suma bubrežastih karakteristika daje kuglastu, a diferencija — osmičastu karakteristiku. Isto vrijedi i za drugi i treći red karakteristika. Gornje činjenice mogle bi se matematički izraziti ovako:



Sl. 77. XY-postupak snimanja ekvivalentan je s MS-postupkom

$$M + S = X \text{ i } M - S = Y \text{ i obratno } X + Y = M \text{ i } X - Y = S$$

Pritom je X — lijeva informacija, Y — desna informacija } potpuna stereoinformacija

M — tonska informacija, S — informacija smjera } potpuna stereoinformacija

M, odnosno $X + Y$ informacija omogućuje monofonsku izvedbu (jednokanalni prenos). Dakle, ima svojstvo kompatibilnosti.

Stereofonska reprodukcija

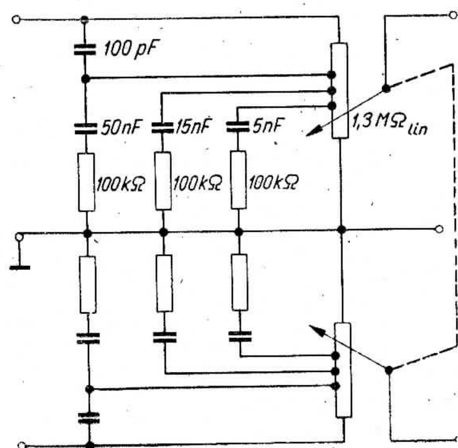
Dvokanalna pojačala

76. — Pri stereofonskoj reprodukciji postavlja se niz zahtjeva na pojedine elemente u prenosnom lancu. Potrebno je npr. da su dvokanalna pojačala identična, tj. da su im iste frekventne i fazne karakteristike i ista pojačanja. Gušenje preslušavanja mora da bude što veće.

Da se postignu jednake frekventne karakteristike, koje se mogu razlikovati najviše 1 — 2 decibela, smiju se upotrebljavati sastavni dijelovi vrlo malih tolerancija. Za izbjegavanje pak faznih razlika (mak-

simalno dopustive 15°—20°) izbacuju se sastavni elementi koji ih unose. Tako je došlo do razvoja pojačala bez izlaznih transformatora (Philips).

Regulacija pojačanja i boje tona vrši se istovremeno u oba pojačala pomoću tzv. tandem-potenciometra. Međutim, ovdje nastaju poteškoće pri tehničkoj izvedbi dvostrukih potenciometara. Kako se pri regulaciji glasnoće smiju razlikovati do dva decibela, odnosno boje zvuka do 3 decibela, a potrebna im je logaritamska promjena, to ih u uobičajenoj izvedbi nije moguće proizvesti dovoljno precizno. Radi toga se ipak izvode linearni potenciometri, i to tako, da im se otpor mijenja linearno unutar izvjesnog kuta zakreta; daljnjim zakretom mijenja se otpor također linearno, ali pod drugim nagibom. Stavljanjem odvojaka i spajanjem RC-elemenata na njih dobiva se na kraju ipak logaritamska karakteristika promjene otpora, sastavljena od linearnih odsječaka koji se dadu izvesti dovoljno tačno. Sl. 78. pokazuje praktičku izvedbu jednog takvog potenciometra.



Sl. 78. Tandem potenciometri, kojima je karakteristika promjene otpora logaritamska iako su upotrebljeni linearni sistemi

Praktički izvedivo gušenje preslušavanja udovoljava zahtjevima, jer se pažljivim izborom elemenata postižu gušenja pri visokim frekvencijama od 40 dB, a pri niskim još i veća, što je dovoljno.

Zvučnici i prostorija

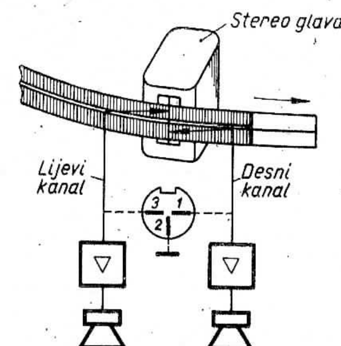
77. — Ako se slušalac nalazi negdje duž simetrale baze stereoreprodukcije, tada pri reprodukciji neće postojati izobličenje zvučne slike, ako je samo snimanje besprijekorno izvedeno. Međutim, ako se nalazi negdje u prostoriji izvan simetrale, nastupit će u oba uha kako

vremenske tako i intenzitetne razlike zbog raznih udaljenosti jednog i drugog zvučnika od slušaoca. Dakle, osim normalno snimljenih razlika zbog položaja zvučnog izvora prema mikrofonima, na temelju kojih i dolazi do stereo-efekta, javljaju se i razlike zbog položaja slušaoca u odnosu na zvučnike, no one su nepoželjne, jer dovode do izobličenja reproducirane zvučne slike. Osim toga, dolazi i do refleksije informacija iz oba zvučnika o zidove prostorije. Na taj način izgleda da će nastati vrlo neugodno preslušavanje (koga u slučaju upotrebe slušalica uopće ne bi bilo), i da neće biti omogućena stereofonska reprodukcija. Međutim, stvar nije tako tragična zbog postojanja tzv. Haasova efekta, prema kojemu uho reagira s najvećom osjetljivošću na prvi zvučni impuls u slijedu više njih, ako je samo vremenski razmak između prvoga i ostalih manji od 25—30 milisekundi.

78. — Što se tiče prostorije u kojoj se vrši stereoreprodukcija, postoje i tu neki zahtjevi. Naime, akustički su najpodesnije prostorije kvadratnog tlocrta, dok ne zadovoljavaju uske duge prostorije. Površina prostorije treba da bude 20—25 m², a manja od 15 m² ne odgovara.

Stereofonsko snimanje i reprodukcija magnetskim putem

79. — Poznavajući svojstva magnetofona i snimanja jedne informacije može se zaključiti, da ne postoje velike poteškoće i za stereofonsko snimanje i za reprodukciju. Kako se pri jednokanalnom snimanju mogu na jednu vrpcu snimiti dva programa na dvije polovine, to se odmah sama po sebi nameće mogućnost snimanja u dva istovremena kanala na obje polovine vrpce (sl. 79). Radi toga je ipak potrebno izvršiti neke preinake u konstrukciji glava. Glava može da bude izvedena kao zajednička za snimanje obiju informacija (in-line heads, stacked heads). Nasuprot tome, mogu se izvesti posebno dvije glave, koje stoje na iz-



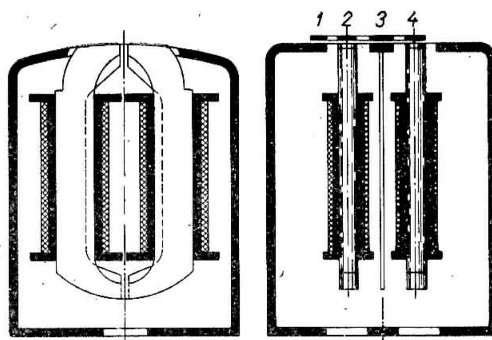
Sl. 79. Stereofonsko snimanje na magnetofonskoj vrpci

vjesnom razmaku (staggered heads), i od kojih svaka služi za snimanje jedne informacije. Ovakva se izvedba rjeđe upotrebljava zbog poteškoća pri sinhroniziranju jednog i drugog kanala, ako se pri tom proces snimanja i reprodukcije vrši na dva posebna magnetofona.

U slučaju zajedničke glave, radi osiguranja sinhronizacije pri reprodukciji vrpci snimanih na drugim magnetofonima, oba raspora treba da budu tačno jedan iznad drugoga. Isto tako moraju obje polovine glave imati identične električke karakteristike. Nadalje je važno, da je glatkoća površine glave što veća, jer čim se vrpca udalji od glave u području jednog kanala, smanji se nivo signala u tom kanalu, što stvara razliku intenziteta i dovodi do pomicanja reproduciranog zvučnog izvora.

I ovdje je važan zahtjev čim manjeg preslušavanja među kanalima. Zato se između gornje i donje glave stavlja zaklon od magnetski vodljivog materijala. Odnos signal/šum stereofonskog magnetofona može kod vrpce s dva traga i brzine 19 cm/sek iznositi i do 50 decibela.

80. — Nedostatak snimanja vrpcom s dva traga jest u tome da se traka može jednostruko upotrijebiti, pa reprodukcija traje pola vremena nego pri jednokanalnoj upotrebi. To se vrijeme može podvostručiti kod trake sa četiri traga. Na dva i dva traga snime se dva stereo-programa. Nedostatak ovog načina jest veće preslušavanje kako između kanala i kanala, tako i među jednom i drugom stereo-snimkom. Osim toga smanjuje se odnos signal/šum na 44 decibela, i povećava osjetljivost glave na nečistoće. Konstrukcija ovakve glave vidi se na sl. 80.



Sl. 80. Stereo-glava i vrpca s četiri traga

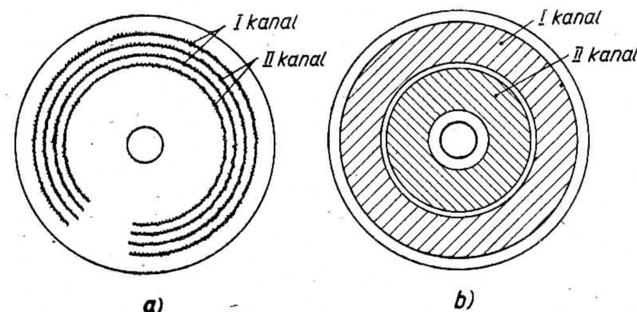
Stereofonija u gramofonskoj tehnici

Uvod

81. — Prvi pokušaji snimanja stereofonskog programa na gramofonske ploče sežu unatrag više od tri decenije. Međutim, tadašnje metode danas se samo spominju kao historijski rariteti, bez praktične primjene. U početku je bio niz nedostataka. Kako su se dva kanala snimala u dva posebna žlijeba, to je vrijeme reprodukcije ploče palo otprilike na polovinu u odnosu na jednokanalno snimanje. Zatim su razvijenije metode snimanja zahtijevale razne dodatne uređaje, što je sve bilo nepraktično. Međutim, razvoj snimanja tekao je sve do današnjih dana, pogotovu jer se jednom snimljeni program mogao pohraniti i, nakon izvjesnog vremenskog razmaka, opetovano reproducirati.

Metode snimanja stereofonskih ploča

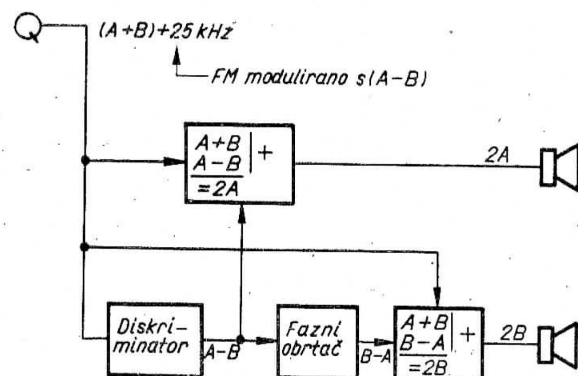
82. — Prije više od dva decenija jedan od načina snimanja bilo je mehaničko dvokanalno urezivanje Philips-Millerovim postupkom. Tada je K. de Boer snimao u dva paralelna utora dvije informacije potrebne za stereofonsku reprodukciju (sl. 81. *a*). Nedostaci ovog načina lako se opažaju. Naime, budući da trebaju dva utora za jednu stereo-informaciju, vrijeme reprodukcije smanjeno je, prema jednokanalnom snimanju, na oko polovinu. Osim toga postojao je problem u izvedbi rezača i zvučnica, koji se za tu svrhu moraju vrlo precizno izraditi radi malog razmaka među utorima. Inače može doći do međusobnog smetanja. Tome se, međutim, dovinulo tako, da se ploča podijelila u dva pojasa. U svaki pojas snimao se po jedan kanal (sl. 81. *b*), no vrijeme reprodukcije je i nadalje bilo smanjeno na polovinu. Nadalje postoji i problem sinhronizacije. Snimanje ili reprodukcija mora se u oba kanala odvijati istodobno s tačnošću od 0,0001 s.



Sl. 81. Jedan od prvih načina dvokanalnog snimanja

83. — Izbjegavanje gornjih nedostataka omogućilo je snimanje obiju informacija istovremeno, u isti utor na ploči. Amerikanac Jerry B. Minter snimao je na slijedeći način (sl. 82). Suma od oba kanala urezivala se kao i kod uobičajenog jednokanalnog snimanja, a razlikom se najprije frekventno modulirala frekvencija od 25 kHz, i ovako dobivena informacija urezivala u ploču zajedno sa sumom. Kod reprodukcije su potrebni neki dodatni elementi. U jednom se elementu vrši zbra-

janje informacije sume i, iz demodulatora dovedene, informacije razlike, tako da se u jednom zvučniku dobiva informacija jednog kanala (2A). Iz demodulatora se informacija razlike, invertirana preko obrtača faze, zbraja s informacijom sume, i dobiva informacija drugog kanala koja se dovodi drugom zvučniku (2B). Ovdje se za stereofonsku reprodukciju mogu upotrijebiti mikro-igle kao i za jednokanalnu reprodukciju, samo treba širokopojasna zvučnica.

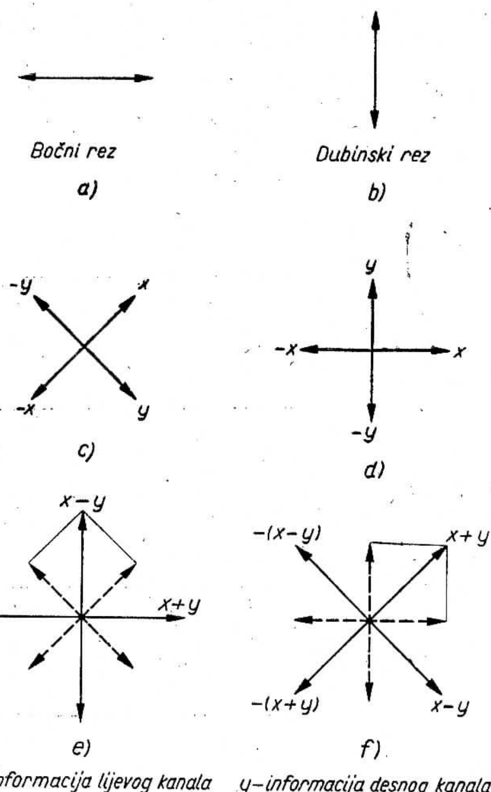


Sl. 82. Blok-shema uređaja za stereofonsku reprodukciju ploča snimljenih Minterovim postupkom

84. — Slična metoda temeljila se na istom principu, samo je korištena amplitudna modulacija. Prvi je kanal obuhvaćao područje frekvencija do 10 kHz. Prenosna je frekvencija bila 11 kHz, a u svrhu prenosa drugog kanala iskorišten je gornji bočni pojas. Nedostatak ove metode je potreba kvalitetnih filtara za odvajanje donjeg bočnog pojasa.

85. — Nedostatak posljednjih dviju metoda — zbog potrebe za dodatnim uređajima — doveo je do postupka nazvanog dvokomponentnim rezom (Zweikomponentenschrift). Tim sistemom su se prve počele služiti engleske tvrtke London Records Co. i Decca, te njemačka — Telefunken (Teledec sistem ili 90°-tehnika). Naime, za registraciju jednog kanala izvodio se bočni rez, kao pri jednokanalnom snimanju (rez po Berlineru), a za registraciju drugog — dubinski rez (rez po Edisonu), i to u istom utoru ploče (sl. 83. *a* i *b*). Znači da se informacije jednog i drugog kanala urezuju u ploču kao dva međusobno okomita titranja. Pri ovom načinu snimanja, tj. pri tzv. 90°-tehnici, jedan je smjer titranja paralelan s površinom ploče, dok je drugi okomit na nju (sl. 83. *d*).

Osim 90°-tehnike snimanja moguće je izvoditi isto i dvokomponentni rez, kod kojega su smjerovi titranja također međusobno pod kutom od 90°, ali u odnosu prema ploči pod kutom od 45° (Englez D. Blum-

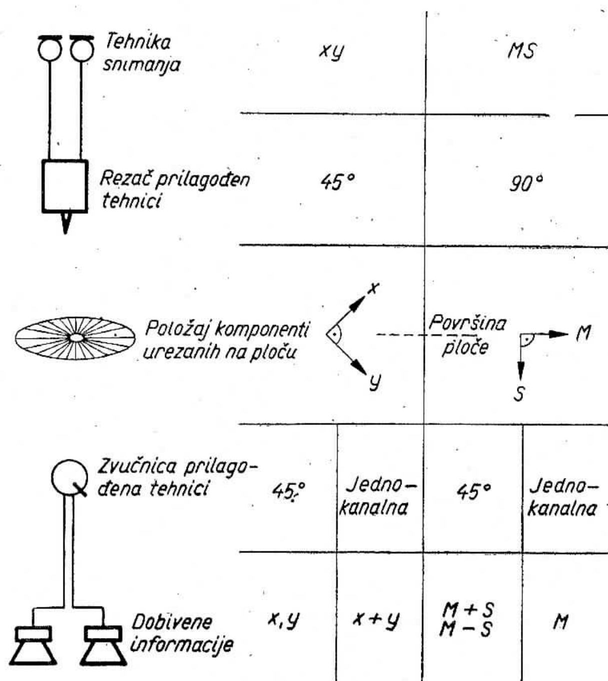


Sl. 83. Princip snimanja dvokomponentnog reza

lein). Ova se tehnika naziva 45°-tehnika (sl. 83. c). I pri jednom i pri drugom postupku mehanički se spajaju oba kanala na ploču. Pri tom se gibanja u međusobno okomitim smjerovima zbrajaju po zakonu paralelograma sila, pa rezultantno gibanje jednog sistema odgovara pojedinačnim gibanjima drugog sistema, i obratno. Jedan sistem odgovara drugom, i u principu su oba jednaka. Jedan se uvijek može pretvoriti u drugi zbrajanjem i odbijanjem informacija u nekom pretvaraču (sl. 83. *e* i *f*).

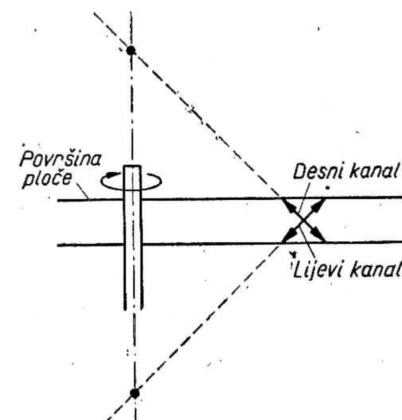
Iako su obje tehnike identične, ipak 45°-tehnika ima neke prednosti pred 90°-tehnikom. Radi toga je dogovorno odabrana prva kao standardna, i sve se ploče režu tom tehnikom. Tako se i reprodukcija vrši zvučnicama izvedenim prema toj tehnici, tj. osjetljivima na pomake pod 45° prema površini ploče. U tabeli (sl. 84) prikazani su načini snimanja mikrofonima, i tome pripadajući načini rezanja, da bi se zadovoljile norme u vezi s reprodukcijom s običnim zvučnicama i stereo-zvu-

čnicama. Sl. 85. prikazuje kutove, pod kojima treba urezivati lijevi i desni kanal. Smjer djelovanja sile pri urezivanju desnog kanala mora se nagnuti 45° prema ploči i sjeći okomicu na nju iznad ploče. Za lijevi kanal važi obratno, kako slika prikazuje.



Sl. 84. Način snimanja mikrofonima u vezi s načinima rezanja i reprodukcijom s određenim zvučnicama

Ekvivalentnost 45°- i 90°-tehnike vidi se iz slijedećih činjenica. Naime, vrši li se snimanje XY-postupkom (karakteristike mikrofona su osmičaste i pod kutom od 90°), a urezivanje 45°-tehnikom, može se pri reprodukciji sa zvučnicom prilagođenom na 45°-tehniku dobiti informacije potrebne za stereofonsku reprodukciju. Pri reprodukciji pak sa zvučnicom, prilagođenom na 90°-tehniku (osjetljiva na bočni i dubinski rez), dobivaju se rezultantne informacije 45°-reza ($X + Y$ i $X - Y$), jer ova zvučnica djeluje kao mehanički pretvarač. Ove se pak informacije odvode u vanjski pretvarač, iza kojega se dobivaju potrebne informacije za stereofonsku reprodukciju. Najzad, reprodukcijom sa zvučnicom osjetljivom samo na bočni rez, dobiva se informacija $X + Y$, koja se dade jednokanalno iskoristiti.



Sl. 85. Kutovi pod kojima treba da budu rezani lijevi i desni kanal

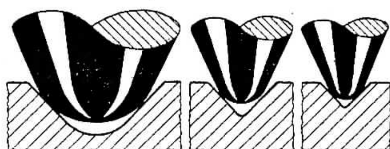
Da se ipak ne snima 90°-tehnikom, razlog su nedostaci tog postupka. Naime, kod dubinskog reza dolazi do harmoničkih izobličenja zbog činjenice, da treba veća sila za isti pomak rezača u dubinu ploče nego prema površini ploče. Obratno, kod istih sila (isti naponi iz pojačala) u oba smjera nastaju nejednaki pomaci. Kod bočnog reza te pojave nema. Međutim, kod 45°-tehnike postoji izvjestan udio dubinskog reza, ali je on jednak za oba kanala. Izobličenja će biti manja i jednako raspoređena na jedan i drugi kanal.

Reprodukcija stereofonskih ploča

86. — Radi usporedbe raznih vrsta gramofonskih ploča prikazani su na sl. 86. utori normalnih, mikro- i stereo-ploča. U pripadnoj tabeli su odgovarajuće dimenzije utora i igle. Normalne ploče (78 okretaja/min) imaju najveće dimenzije utora; kod mikro-ploča (long-playing) dimenzije su dalje smanjene radi čim dulje reprodukcije. Međutim, kod stereo-ploča, ako su snimljene dvokomponentnim rezom, širina utora zahtijevala bi više prostora. No da se postigne otprilike isto vrijeme reprodukcije kao kod jednokanalnih mikro-ploča, morale bi se još više smanjiti dimenzije utora, igle i sile kojom zvučnica pritiskuje iglu (kod tanje igle došlo bi uz istu silu do većeg opterećenja i bržeg uništenja ploče). Orijentaciona vrijednost sile iznosi 5—6 grama kod stereo-ploča prema 8—10 grama kod mikro-ploča.

Vrijeme reprodukcije ovisi, osim od dimenzije utora i od dinamike snimljenih informacija. Obično ono iznosi pri normalnom promjeru ploča 28 minuta. Kvalitetna reprodukcija (s obzirom na izobličenje) zahtijeva veće polumjere od 140 milimetara pri brzini okretanja od 33 okretaja/min.

	Normal	Mikro	Stereo
Širina žlijeba	120 μ	60 μ	45 μ
Zakrivljenost dna	40 μ	5 μ	1 μ
Zakrivljenost igle	60 μ	25 μ	17 μ
Kut žlijeba	88°	88°	88°
Sile na iglu		8—10 g	5—6 g

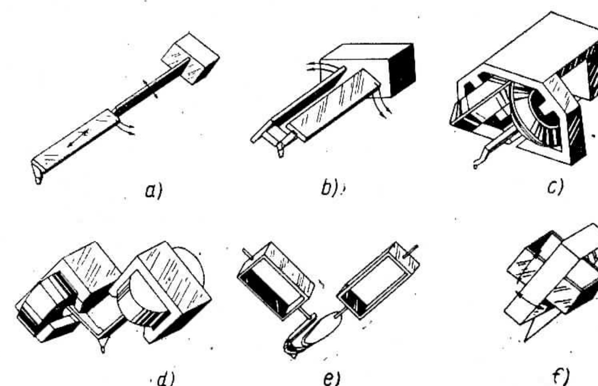


Sl. 86. Dimenzije utora i igle kod normalnih, mikro i stereo-ploča

87. — Stereo-zvučnice treba da budu mehanički vrlo precizno izrađene. Naročito je važna simetrija obiju polovina zvučnice u svakom pogledu, jer bi u suprotnom slučaju ove unosile razna svojstva u oba kanala. Njihova ukupna masa treba da bude manja od mase jednokanalnih zvučnica, kako ne bi nastupili veći pritisci na iglama manjih dimenzija. Po konstrukciji su kristalne, magnetske i dinamske (sl. 87) kao i u jednokanalnoj tehnici. Gibanje igle prenosi se istovremeno na dva identična mehaničko-električka pretvarača postavljena pod 45° prema površini ploče (odnosno pod kutom 90° međusobno), na koje djeluju komponente gibanja igle u tim smjerovima, izazivajući u njima napone odgovarajućih kanala.

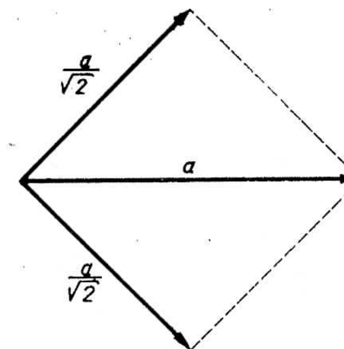
Da se izbjegne preslušavanje, elektromehanički pretvarači treba da budu tačno pod kutom od 45° prema površini ploče, odnosno pod kutom od 90° međusobno, a igla okomito prema ploči. Što su slabije zadovoljeni ovi zahtjevi, javlja se to veće preslušavanje.

88. — Sa stereo-zvučnicom mogu se reproducirati i jednokanalno snimljene ploče. Kako je kod ovih izveden bočni rez, to se u smjeru pod kutom od 45° prema ploči (na što jedino reagira stereo-zvučnica) dobivaju $\sqrt{2}$ puta manji naponi od napona u normalnoj jednokanalnoj zvučnici (sl. 88). Znači, jedina je razlika u tome, što se na izlazu iz jed-



Sl. 87. Kristalne, magnetske i dinamske stereo-zvučnice

nog kanala stereo-zvučnice dobivaju manji naponi (naravno, niti stereo-efekta neće biti). Ako se, međutim, spoje paralelno oba kanala stereo-zvučnice (kako se to obično i radi), zbrajaju se naponi iz oba kanala pa se dobivaju veći naponi. Ovim posljednjim načinom (paralelnim spojem kanala) ujedno se poboljšava reprodukcija jednokanalnih ploča, jer se naponi izobličenja, izazvani okomitim gibanjem zvučnice (tzv. efektom štipanja), javljaju u oba kanala stereo-zvučnice jednaki po veličini i različiti po fazi, pa se ukidaju.



Sl. 88. Informacije dobivene reprodukcijom jednokanalskih ploča stereo-zvučnicom

Stereo-ploče je moguće reproducirati i jednokanalnom zvučnicom, ali se pri tom uništavaju ploče.

Frekventno područje stereo-ploča proteže se kao i kod jednokanalnih ploča od 30—15 000 Hz.

Pitanja

1. Opiši elemente jednokanalnog prenosa.
2. Koji su nedostaci jednokanalnog prenosa?
3. Navedi karakteristike stereofonskog prenosa.
4. U čemu se sastoji postupak snimanja s »umjetnom glavom«? Koji su nedostaci ovog postupka?
5. Kako se izvodi snimanje postupkom AB-stereofonije?
6. Po čemu je karakterističan tzv. kritični kut upada zvuka? O čemu on ovisi?
7. Koji su nedostaci AB-stereofonije?
8. Opiši postupak snimanja MS-stereofonijom. Kako se zbrajaju i odbijaju dvije informacije, što ih daju dva mikrofona?
9. Kakvi se zahtjevi postavljaju na mikrofone u svrhu kvalitetne reprodukcije?
10. Usporedi MS- i XY-postupak snimanja.
11. Koji se zahtjevi postavljaju na dvokanalna pojačala?
12. Kako utječu zvučnici i prostorija pri stereofonskoj reprodukciji?
13. Da li je moguće vršiti stereofonsko snimanje na magnetofonskoj vrpci?
14. Kojim načinom su se snimale prve stereofonske ploče? Navedi nedostatke.
15. Opiši jednu od metoda istovremenog snimanja dviju informacija u isti žlijeb.
16. U čemu se razlikuje 90°-tehnika snimanja od 45°-tehnike? Koja je od njih bolja i zbog čega?
17. Na što se mora naročito paziti pri izvedbi stereo-zvučnica?
18. Da li se sa stereo-zvučnicom mogu reproducirati i normalno snimljene ploče? Kako je s glasnoćom pri takvoj reprodukciji?

LITERATURA

Knjige

1. A. Damjanović, H. Kurtović: *Elektroakustika I*, Zavod za izdavanje udžbenika NRS, Beograd 1960.
2. K. Henney: *Radio Engineering Handbook*, McGraw-Hill 1959.
3. T. Jelaković: *Arhitektonska akustika*, Tehnička knjiga — Zagreb 1962.
4. T. Jelaković: *Magnetsko snimanje zvuka*, Tehnička knjiga — Zagreb 1959.
5. H. Kurtović: *Elektroakustika II*, Zavod za izdavanje udžbenika NRS, Beograd 1960.
6. H. Kurtović: *Ozvučavanje*, Tehnička knjiga — Beograd 1961.
7. J. Moir: *High quality sound reproduction*, Chapman & Hall 1958.
8. H. F. Olson: *Elements of acoustical engineering*, D. Van Nostrand 1955.

Članci u časopisima

1. K. Bertram: *Aufnahmetechnik für kompatible Stereofonie*, Radio Mentor, 1958/9, str. 592.
2. K. Bertram; H. Petzoldt: *Stereo-Richtungsmischer*, Funktechnik, 1959/13, str. 459.
3. K. de Boer: *Plastische Klangwiedergabe*, Philips Technische Rundschau, 1940/4, str. 108.
4. K. de Boer: *The formation of stereophonic images*, Philips Technical Review, 1946/2, str. 51.
5. K. de Boer: *Experiments with stereophonic records*, Philips Technical Review, 1940/6, str. 182.
6. P. Burkowitz, C. Lindström: *Stereo-Versuche im Hallraum und im schalltoten Raum*, Radio Mentor, 1959/5, str. 377.
7. H. Redlich, H. J. Klemp: *Stereophonische Aufzeichnung auf Schallplatten*, Funktechnik, 1958/12, str. 367.
8. H. Redlich: *Stereophonie der Schallplatte*, Elektronische Rundschau, 1959/8, str. 286.
9. W. Schlechtweg: *Prinzipien der Zweikomponentenschrift bei der stereophonischen Schallplatte*, Funktechnik, 1958/12, str. 406.
10. W. Schlechtweg: *Stereofonische Wiedergabe-Technik*, Funkschau, 1958/11, str. 275.
11. B. Somek: *Dobivanje tona i boje tona kod elektronskih muzičkih instrumenata*, Elektrotehničar, 1963/5—6, str. 65.
12. K. Tetzner: *Stereofonie im Kommen*, Funkschau, 1958/11, str. 273.
13. K. Tetzner: *Stereofonie auf Schallplatten*, Funkschau 1958/4, str. 87.

ABCEDNO KAZALO

Prvi broj označuje stranicu, drugi (u zagradi) odsjek.

A

Akustička impedancija 14 (7)
akustički otpor 14 (7)
akustika 11 (1)
— prostorija 25 (19)
amplitudna cijev 111 (111)
antene, oklopljene 232 (234)
—, mjerenja na — 164 (171)
aperiodsko pojačalo 144 (149)
audionski voltmetar 143 (147)

B

Bas — refleks 307 (33)
baterijsko zvonce, otklanjanje smetnji kod — 238 (241)
baza stereoreprodukcije 338, (67), 339 (68)
bel 22 (16)
Berlinerov rez 85 (83)
bočni rez 85 (83)
boja tona 11 (2)
Braunova cijev, v. katodna elektronka
brisanje istosmjernim poljem 318 (44)
— izmjeničnim poljem 321 (47)
brzina zvuka 12 (4)
brzinska amplituda 14 (8), 88 (88), 90 (89)
bubrežasti mikrofon 45 (40)

Č

Čujno područje 14 (6)

D

Decibel 22 (16)
dijatermijski aparat 245 (247)
dinamička magnetska karakteristika 317 (43)
dinamika gramofonske ploče 88 (88)
diodni voltmetar 138 (142)
distorziometar 184 (191)
Dopplerov efekt 290 (16)
dozvuk 26 (20)
dubinski rez 84 (83)
dvokanalna pojačala 345 (76)
dvokomponentni rez 350 (85)
—, 45° — tehnika 350 (85)
—, 90° — tehnika 350 (85)
dvostruki govor 69 (68)

E

E—I metoda 147 (151)
efekat prodiranja 325 (51)
— raspora 325 (51)
eksponencijalni lijevak 73 (71)
elektroakustika 11 (1)

elektroakustične mjerne metode 185 (192)
elektronska optika 200 (206)
elektronski frekveciometar 161 (169)
— valomjer 161 (169)
— voltmetar 139 (141)
elektrostatski voltmetar 236 (139)

F

Faktor apsorpcije 27 (22)
— izobličenja, mjerenje 183 (190)
— izobličenja zvučnika, mjerenje 193 (200)
— prijenosa 249 (250)
— preostalih smetnji 249 (250)
— refleksije 27 (22)
— smetnji 249 (250)
— vakuuma, mjerenje 156 (163)
filmsko snimanje zvuka 330 (54)
—, intenzitetni postupak 330 (54)
—, longitudinalni postupak 331 (54)
—,transverzalno 331 (54)
filtar za šum igle 108 (109)
fon 18 (12)
fonograf 84 (83)
formantna područja 11 (2)
frekvencijska skretnica 309 (35), 311 (36)
frekvenciometar 160 (166)
frekventna gramofonska ploča 173 (182)
— karakteristika zvučnika, snimanje 192 (199)
— modulacija mjernih odašiljača 221 (226)

G

Generator tonskih frekvencija 173 (182)
— visokih frekvencija 125 (126)
glasnoća 277 (1, 2), 278 (3, 4), 279 (5)
glava za rezanje 110 (110)
gljivasti zvučnik 75 (73)
govorna snaga 67 (66), 102 (111)
—, mjerenje 181 (189)
Graetzov spoj 135 (137)
gramofonske ploče, akustičke svojstva 85 (85)
—, amatersko snimanje 110 (110)
—, mikro — 353 (86)
—, normalne — 353 (86)
—, stereo — 353 (86)
granica bola 16 (9)
— čujnosti 16 (9)
— čujnost zvučnog tlaka 19 (13)
— zvučne snage 19 (13)

H

Haasov efekt 347 (77)

I

Igla za reprodukciju 98 (99), 114 (115)
—, mikro — 354 (86)
—, normalna — 354 (86)
—, stereo — 354 (86)
infrazvuk 14 (6)
instrument s termopretvaračem 133 (134)
— sa suhim ispravljačem 135 (137)
intenzitet zvuka 15 (8), 186 (192)
—, mjerenja — 186 (192)
ireverzibilan proces magnetiziranja 320 (46)
ispitivači elektronki 150 (164)
ispitivanje vakuuma 156 (163)
izdizanje basova 107 (108)
izlazni vatmetar 181 (189)

izmjenični napon, mjerenje — 216 (22)
— smetnji, mjerenje — 249 (250)
izvori smetnji, traženje — 248 (249)

J

Jakost glasa 17 (11)
—, mjerenje — 189 (195)
jakost zvuka 15 (8), 186 (192)
—, mjerenje — 186 (192)
jastuk za grijanje, otklanjanje smetnji kod — 239 (242)
jednokanalni prenos 334 (60)
jeka 69 (68)

K

Karakteristike elektronki, snimanje — 217 (223)
katodna elektronka 195 (201), 198 (204), 201 (208)
katodni oscilograf 195 (201), 212 (217)
Kerrova ćelija 330 (54)
koeficijent (faktor) apsorpcije 27 (22)
kondenzator za zaštitu od dodira 235 (237)
kondenzatorski mikrofon 39 (34)
— s osmičastom usmjernom karakteristikom 44 (39)
— s kružnom usmjernom karakteristikom 46 (42)
— s bubrežastom usmjernom karakteristikom 45 (40)
kondenzatorski zvučnik 65 (61)
kontaktni mikrofon 31 (25)
konzonanti 283 (10)
korektor 107 (108)
korigiranje dubokih tonova 107 (108)
kratki lijevak 73 (72)
— spoj, akustički 59 (55)
kristalna zvučnica 94 (94)
kristalni mikrofon 47 (43)
— zvučnik 66 (64)
kritični kut upada zvuka 338 (67), 339 (68)
krivulje jednake glasnoće 21 (15)
— osjetljivosti ljudskog uha 21 (15)
kut faznog pomaka, mjerenje — 153 (159), 217 (222)
— gubitka, mjerenje — 163 (159)
kvadratni elektrometar 135 (139)
kvaliteta tona, mjerenje — 171 (179)

L

Lančasti vodič 129 (130)
Larsenov spoj 238 (240)
leće, električke 200 (206)
—, magnetske 200 (206)
linearno izobličenje 287 (12)
linearno izobličenje, mjerenje — 172 (180)
logatomi 282 (8, 9)
longitudinalni valovi 12 (3)
L-regulator 78 (77)

M

Magnetofon 119 (120)
magnetofonska stereo-glava 347 (79)
magnetski čelici 61 (58)
magnetsko snimanje zvuka 313 (39)
mel 284 (11)
membrana s klinastim presjekom 53 (49)
— zvučnika 53 (49)
metoda triju napona 152 (158)
mikrofon 31 (24)
— elektrodinamički 36 (31)
— elektrostatski 38 (34)

— elektrostatski (kondenzatorski) 292 (19)
— osjetljivost 294 (21), 295 (22)
— piezoelektrički 47 (43), 295 (23)
— postavljanje 49 (45)
— s komoricama 34 (28)
— s pokretnom zavojnicom 38 (33)
— tehnička svojstva 296 (23)
Minterov postupak stereofonskog snimanja 349 (83)
mjerač šuma po Barkhausenu 189 (195)
mjerenje induktiviteta 147 (151), 150 (156), 151 (157), 153 (159), 161 (168)
— jakosti polja 167 (174)
— kapaciteta 147 (152), 150 (156), 154 (159)
mjerna tehnika 123 (123)
mjerni most 149 (153)
— odašiljač 125 (126)
modulacioni trapez, snimanje 223 (228)
most s kliznom žicom 149 (154)
— za mjerenje faktora izobličenja 184 (191)
mrežno zvonce, otklanjanje smetnji kod — 238 (241)
multicelularni voltmetar 137 (139)

N

Načini snimanja zvuka 110 (110)
—, elektromagnetski 117 (119), 119 (120)
—, mehano-grafički 120 (122)
nadtonovi 11 (2)
naponsko pojačanje, mjerenje 180 (188)
nawi-membrana 53 (49)
nelinearna izobličenja, mjerenje 178 (181), 183 (190)
nelinearna izobličenja 287 (12)
—, intermodulaciona 288 (13), 310 (35)
neper 22 (17)
niskofrekventno pojačalo, mjerenje na 180 (188)
normalni ton 14 (5)
— zvuk 18 (12)
norme za tonske nosače 326 (52)
nož za urezivanje 110 (110), 113 (114)
nulti nivo decibelne skale 24 (18)
— neperske skale 24 (18)
— fonske skale 19 (13)
nuzotpor 131 (132)

O

Odašiljač, ispitivanje — 223 (228)
Odjek 26 (20)
Ohmov zakon akustike 15 (8)
osjet glasnoće 16 (9)
osjetljivost na smetnje 250 (251)
— prijema, mjerenje — 169 (176)
osmičasti mikrofon 44 (39)
osnovni ton 14 (5)
otklanjanje katodne zrake 185 (202)
otklanjanje smetnji kod električnih strojeva i aparata 234 (236)
— kod prijemnih uređaja 231 (234)
— kod mirujućih kontakta 237 (240)
— kod rotirajućih kontakta 240 (243)
otklonska osjetljivost 202 (208)
otpor antene, mjerenje ukupnog — 166 (173)
otpori za izmjeničnu struju, mjerenje — 146 (150), 153 (159)
otvoren prozor 27 (22)
ozvučna kutija 306 (32)
— ploča 305 (31)

Ö

Örstit 61 (58)

P

Philips-Millerova metoda 120 (122), 349 (82)
pisač prigušenja po Neuman-Siemensu 191 (197)
ploče za snimanje 113 (115)
pogonski motor za snimanje ploča 114 (116)
— za reprodukciju ploča 101 (101)
pojasni mikrofon (mikrofon s vrpcom) 36 (31)
poredni motor, otklanjanje smetnji kod — 241 (244), 243 (245)
povratna sila kotve zvučnika 47 (50)
— kotve zvučnice 91 (90)
prazni (jalovi) otpori, mjerenje — 147 (151)
predotpor 131 (132)
predmagnetiziranje 314 (40)
—, istosmjerno 314 (40), 318 (43), 319 (45)
—, visokofrekventno 320 (46), 322 (48), 323 (49), 324 (50)
prijemnik za traženje smetnji 248 (249)
prohvat, mjerenje — 155 (161)
proširivanje mjernog područja 131 (132)

R

Radio-smetnje 227 (230)
rasipna polja 123 (123)
raspor 315 (41)
—, efektivni 316 (42)
—, mehanički 316 (42)
razumljivost govora 281 (8), 282 (9, 10)
Rayleighjeva ploča 186 (192)
reakcija, akustička 70 (68)
regulacija fejdinga, ispitivanje automatske — 170 (178)
reguliranje glasnoće prema osjetljivosti uha 21 (15)
—, kod zvučnika 70 (76)
relaksaciona frekvencija 205 (211), 206 (212), 207 (213), 209 (214)
relaksacioni napon 205 (211), 207 (213)
— spojevi 206 (212), 207 (213), 200 (214)
— titraji 205 (211)
reverzibilan proces magnetiziranja 320 (46)
rezonantna krivulja, snimanje — 221 (226)
rotirajuće zrcalo 204 (210)
ručka zvučnice, postavljanje — 97 (97), 114 (116)

S

Savijena igla 114 (115)
selektivnost, mjerenje — 170 (177)
serijski motor, otklanjanje smetnji kod — 241 (244), 243 (245)
sinhroni motor 101 (101)
sinhroniziranje 214 (220)
sirutor 136 (138)
skala glasnoće 20 (14)
smetnje od električnih strojeva 219 (231)
— snimljene na gramofonsku ploču 229 (233)
son 279 (6)
—, ISO-son 280 (6)
spoj za gašenje iskara 237 (240)
statička magnetska karakteristika 317 (43)
stereofonija 334 (59), 336 (62)
— kod magnetofona 347 (79)

— u gramofonskoj tehnici 348 (81)
stereofonska reprodukcija 345 (76)
— kompatibilnost 341 (70), 345 (75)
stereofonsko snimanje 337 (65)
— s umjetnom glavom 337 (66)
—, AB-stereofonija 339 (68)
—, MS-stereofonija 341 (71)
—, XY-postupak 344 (75)
strmina, mjerenje — 155 (162)
stroboskopska ploča 100 (100)
stroj za snimanje na čeličnoj vrpci 117 (119)
— za snimanje na vosku 116 (118)
svijetleći zastor 202 (208)

Š

Šum 11 (2)

T

Tandem potenciometar 346 (76)
tehnika snimanja ploča 84 (83)
temperaturni regulator, otklanjanje smetnji kod — 239 (242)
termički instrument 131 (133)
termoefekt 133 (134)
termoelemenat 134 (134)
termopretvarač 134 (135)
tiratron 200 (214)
titrajna brzina zvuka 15 (8)
—, mjerenje — 185 (192)
tlačni mikrofon 43 (38)
tlačno-gradijentni mikrofon 44 39)
ton 11 (22)
tongenerator 173 (182)
tonske folije 113 (115)
— frekvencije, mjerenje — 178 (187)
tramvaji, otklanjanje smetnji kod — 247 (248)
transverzalni valovi 12 (3)
T-regulator 81 (80)
treptanja nula 163 (169)
treptajno zujalo 175 (184)
trofazni motor, otklanjanje smetnji kod — 243 (245)

U

Udvostručivanje frekvencije 65 (61)
ugljeni mikrofon 32 (26), 33 (28)
— priključivanje — 35 (29)
—, simetrični (diferencijalni) 292 (18)
ultrazvuk 14 (6)
umjetna antena 169 (176)
unutarnji otpor elektronke, mjerenje — 156 (162)
uređaj za pomak 111 (112)
urezni pritisak 113 (114)
usmjerene karakteristike 43 (38)
— kondenzatorskih mikrofona 44 (39), 45 (40), 46 (42)

V

Valomjer 160 (166)
— sa zujalom 161 (168)
valovi smetnji 227 (232)
veliki razglasni uređaj, akustičko planiranje — 67 (65), 69 (68)
visokofrekventni medicinski aparat, otklanjanje smetnji kod 244 (246)
— potenciometar, kapacitivni 129 (130)
— potenciometar, omski 129 (131)
— zaporni filter 232 (235)
visokotonski zvučnik 66 (64)
vjernost reprodukcije muzike 281 (7)
vlastita valna dužina antene, mjerenje 165 (171)
vlastiti induktivitet antene, mjerenje 165 (172)
— kapacitet antene, mjerenje 165 172)
vokali 282 (10)
voltmetar s anodnim ispravljanjem 141 (144)
— s ispravljanjem pomoću rešetke 143 (147)
vrijeme odjeka 26 (21)
—, mjerenje — 190 (197)
vremensko otklanjanje 204 (210)

W

Weber-Fechnerov zakon 18 (11)
Wheatstoneov most 149 (153)

Z

Zakon odjeka 20 (23)
zakretni momenat motora 102 (102)
zaštitni kapacitet 135 (137)
zvonasti zvučnik 71 (70), 75 (73)
zvučna ploča 59 (55)
zvučna snaga 15 (8)
zvučnica, priključivanje 103 (103)
—, elektrodinamička 94 (93)
—, elektromagnetska 90 (89), 92 (91), 93 (92)
—, elektrostatska 92 (89)
—, piezoelektrička 94 (94)
—, stereo — 354 (87)
zvučni film 120 (121)
zvučnici smješteni u zemlji 78 (75)
zvučnik, elektrodinamički 57 (53), 298 (26)
—, elektromagnetski 52 (48)
—, elektrostatski 65 (61)
—, eliptični 305 (30)
—, otpor isijavanja 300 (26), 302 (28)
—, stupanj djelovanja — 68 (66), 297 (25)
zvučni stup 308 (34)
zvučnik s četveropolnim sistemom 59 (52)
zvučni tlak 14 (7)
—, mjerenje — 187 (193), 187 (194)
zvuk 11 (2)
—, muzički 284 (11)
—, boja zvuka 285 (11)
—, visina zvuka 284 (11)
—, vrijeme trajanja 285 (11)
—, portamento 287 (11)
—, vibrato 287 (11)

Znak 7140 S

Izdanje:

Dr. WALTER DAUDT

RADIO-TEHNIKA

III. DIO

Naslov originala:

FUNKTECHNIK
Teil III

Preveo:

Prof. dr. ing. TIHOMIL JELAKOVIĆ

Izdavač:

TEHNIČKA KNJIGA
Zagreb, Jurišićeva 10.

Za izdavača odgovara:

Ing. KUZMAN RAŽNJEVIĆ

Uredništvo srednjoškolskih udžbenika

Glavni urednik:

Ing. ZVONIMIR VISTRIČKA

Tehnički urednik:

ŽARKO PAVUNIĆ

Tisak:

IZDAVAČKO-ŠTAMPARSKO PREDUZEĆE »OBOD«
Cetinje

Tisak dovršen:

LISTOPADA 1971.